

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO  
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**“METODOLOGÍA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE NATURACIÓN EN  
AZOTEAS A TRAVÉS DE LA ELABORACIÓN DE UN  
MODELO”**

**Gloria García Jiménez**

Tesis para optar por el Grado de Maestra en Diseño  
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del jurado

Mtro. Roberto Gustavo Barnard Amosurrutia  
*Director de Tesis*

Dr. Marco V. Ferruzca Navarro  
*Co-Director de Tesis*

Dra. Esperanza García López  
Dr. Manuel Portillo Rodríguez  
Mtro. E. Israel Tovar Jiménez  
Dr. Pablo David Elías López

Ciudad de México  
Septiembre 2016



## Resumen

El actual paradigma mundial sobre la utilización de espacios verdes naturados, como un medio para enverdecer las ciudades y como ecotecnología de ahorro de energía, hace necesario analizar los factores que intervienen en el desarrollo para la óptima instalación de estos espacios. Este estudio pretende realizar una recopilación del “estado del arte” al respecto con el fin de ampliar el entendimiento en este campo. Adicionalmente, este trabajo tiene como objetivo proponer un procedimiento de diseño e instalación de una azotea naturada, tomando en cuenta cuatro aspectos fundamentales que son: socioeconómico, normativo, tecnológico y ambiental. Cada uno de estos aspectos con sus variables se van a estudiar para obtener como resultado, un diagrama con los componentes que deben ser tomados en cuenta al diseñar e instalar un espacio de este tipo, proporcionando a todo aquel usuario que esté interesado en instalar un sistema de naturación, una herramienta metodológica que contempla las variables a considerar.

## **Dedicatoria**

A Dany y Fer,  
por su comprensión, porque cada minuto dedicado a este trabajo,  
fue un minuto de ausencia en sus vidas. Los amo.

A mi madre,  
por ser, por estar.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma Metropolitana, al Posgrado de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Unidad Azcapotzalco.

Muy en especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT.

Al profesor Roberto Gustavo Barnard Amosurrutia, Director de Tesis.  
A Marco V. Ferruzca Navarro, Co-Director de Tesis, por guiarme en el camino de la investigación.

A Esperanza García López, por la inspiración, por la motivación y por su vocación.

A la Dra. Rocío López de Juambelz. Facultad de Arquitectura del Paisaje.

A los miembros del jurado, por aceptar leer el presente trabajo, por compartir conmigo su conocimiento, experiencia y sobre todo el tiempo dedicado a ello.  
Mtro. Israel Tovar, Dr. Manuel Portillo y Dr. Pablo Elías.

A mis compañeros de aula y ahora amigos. Carmen, Ceci, Tania, Johanna, Laura, Alexa,  
Alejandro, Yoshi  
Muy en especial a Carmen, Ceci y Tania, por el tiempo y los conocimientos compartidos.

## **Contenido**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Contenido.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Introducción.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Capítulo 1 .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1. Antecedentes .....</b>  | <b>12</b> |
| 1.1. Cronología del uso de la vegetación en las cubiertas .....         | 13        |
| 1.2. Prehistoria .....  | 14        |
| 1.3. Edad Antigua .....   | 15        |
| 1.4. Arquitectura Vernácula .....                                       | 19        |
| 1.5. Edad Media .....   | 22        |
| 1.6. Islandia .....   | 22        |
| 1.7. Los burstabaer.....  | 24        |
| 1.8. Le Corbusier .....   | 26        |
| <b>Capítulo 2 .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>2. Análisis Teórico. Sistemas de Naturación, hoy .....</b>           | <b>30</b> |
| 2.1. Qué es la Naturación .....   | 31        |
| 2.2. La naturación en el mundo .....                                    | 35        |
| 2.2. La naturación en México.....                                       | 38        |
| 2.3. Edificios Públicos.....  | 39        |
| 2.4. Iniciativa Privada .....   | 41        |
| 2.5. Soluciones existentes en el mercado.....                           | 42        |
| 2.6. Confort Térmico.....   | 44        |
| 2.7. Organización de los componentes del MCM para su investigación..... | 46        |
| <b>Capítulo 3 .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>3. Componente Socioeconómico y Componente Normativo .....</b>        | <b>49</b> |
| 3.1. Tendencia a la urbanización .....                                  | 50        |
| 3.2. Acciones a llevar a cabo en Ciudades Ecológicas Sostenibles .....  | 51        |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| 3.3.              | Promover parques y jardines .....                                 | 52        |
| 3.4.              | Aceptación.....   | 54        |
| 3.5.              | Función.....  | 54        |
| 3.6.              | Incentivos .....  | 55        |
| 3.7.              | Costo .....   | 58        |
| 3.8.              | Concientización .....   | 59        |
| 3.9.              | Norma Ambiental NADF-013RNAT-2007.....                            | 61        |
| 3.9.1.            | Ordenamientos Jurídicos .....                                     | 61        |
| 3.9.2.            | <i>Información arquitectónica y física de la edificación.....</i> | 63        |
| 3.9.3.            | <i>Información estructural .....</i>                              | 63        |
| 3.9.4.            | <i>Información sobre la vegetación .....</i>                      | 63        |
| 3.9.5.            | <i>Especificaciones Generales.....</i>                            | 63        |
| <b>Capítulo 4</b> | <b>.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>4.</b>         | <b>Componente Ambiental .....</b>                                 | <b>67</b> |
| 4.1.              | El clima.....   | 68        |
| 4.1.1.            | Clasificación climatológica .....                                 | 68        |
| 4.1.2.            | Importancia de la Vegetación .....                                | 71        |
| 4.1.3.            | Relación Clima-Vegetación.....                                    | 73        |
| 4.2.              | Factores Climáticos .....   | 75        |
| 4.3.              | Elementos del Clima.....  | 76        |
| <b>Capítulo 5</b> | <b>.....</b>  | <b>79</b> |
| <b>5.</b>         | <b>Componente Tecnológico .....</b>                               | <b>79</b> |
| 5.1.              | La Estructura .....   | 81        |
| 5.2.              | El suelo.....   | 82        |
| 5.3.              | El sustrato .....   | 83        |
| 5.4.              | Las plantas .....   | 87        |



|                   |  |            |
|-------------------|--|------------|
| 5.5.              | Clasificación vegetal .....                      | 87         |
| 5.6.              | La vegetación y los criterios de selección ..... | 89         |
| 5.7.              | Las plantas crasas y suculentas .....            | 91         |
| 5.8.              | Género Echeveria.....                            | 95         |
| 5.9.              | Sistema .....                                    | 97         |
| 5.9.1.            | Impermeabilización.....                          | 97         |
| 5.9.2.            | Capa Drenante .....                              | 102        |
| 5.9.3.            | Capa Filtrante .....                             | 103        |
| 5.9.4.            | Capas Auxiliares.....                            | 104        |
| 5.10.             | Mantenimiento.....                               | 105        |
| 5.10.1.           | El riego.....                                    | 106        |
| 5.10.2.           | La poda.....                                     | 112        |
| 5.10.3.           | Control de plagas.....                           | 112        |
| <b>Capítulo 6</b> | <b>.....</b>                                     | <b>118</b> |
| <b>6.</b>         | <b>Estudio de caso .....</b>                     | <b>118</b> |
| 6.1.              | Descripción del Proyecto .....                   | 122        |
| 6.2.              | Modelo Conceptual Metodológico (MCM) .....       | 124        |
| 6.3.              | Espacio a naturar .....                          | 125        |
| 6.4.              | Análisis Estructural .....                       | 126        |
| 6.5.              | Aceptación.....                                  | 127        |
| 6.6.              | Función.....                                     | 129        |
| 6.7.              | Análisis Climático.....                          | 130        |
| 6.8.              | Análisis Bioclimático .....                      | 142        |
| 6.9.              | Selección de la vegetación .....                 | 150        |
| 6.10.             | Selección del sustrato .....                     | 151        |
| 6.11.             | Sistema.....                                     | 152        |

|  |                                 |            |
|--|---------------------------------|------------|
| 6.12.  | Programa de Mantenimiento ..... | 154        |
| 6.13.  | Costos.....                     | 156        |
| 6.14.  | Instalación.....                | 156        |
| 6.15.  | Incentivos.....                 | 157        |
| <b>Conclusiones .....</b>  |                                 | <b>158</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>   |                                 | <b>167</b> |
| <b>Ilustraciones .....</b>   |                                 | <b>171</b> |
| <b>Apéndice A.....</b>   |                                 | <b>177</b> |
| <b>Glosario .....</b>  |                                 | <b>177</b> |
| <b>Apéndice B.....</b>   |                                 | <b>184</b> |
| <b>Anexos.....</b>   |                                 | <b>184</b> |
| Anexo 1. Paleta vegetal con las especies sugeridas por el Dr. Jerónimo Reyes .....   |                                 | 185        |
| Anexo 2. Memoria de cálculo del análisis y revisión de la estructura de los edificios donde se<br>instalará el sistema naturado dentro del conjunto académico de la Universidad Autónoma<br>Metropolitana “Unidad Azcapotzalco” ubicado en la delegación Azcapotzalco en el Distrito<br>Federal..... |                                 | 189        |

## **Introducción**

Actualmente existe una tendencia mundial en la utilización de la vegetación en muros y azoteas, como consecuencia de la disminución de aéreas verdes en áreas urbanas y como una propuesta para el mejoramiento ambiental en el diseño urbano y arquitectónico, ya que se ha demostrado que la utilización de esta tecnología conlleva a beneficios ambientales, eficiencia térmica de las techumbres que se refleja en el ahorro de energía, reciclaje de agua, confort acústico, disminución del albedo, por ende, una disminución del efecto Isla de calor entre otros.

El diseño y utilización de esta tecnología requiere de la aplicación de diversas áreas y disciplinas del conocimiento, tales como análisis climático para el diseño de los espacios exteriores, el conocimiento del funcionamiento de las plantas, las propiedades física-mecánicas de las membranas, la características físico químicas de las sustancias utilizadas en las impermeabilizaciones, la edafología de los sustratos y las propiedades térmicas de estos sistemas de naturación.

Por otro lado, cuando diseñamos una obra nueva estamos en condiciones de aplicar el diseño bioclimático desde la etapa de su concepción, no así en los edificios que ya existen y los cuales en la mayoría de los casos, solo fueron diseñados para responder a la necesidad de satisfacer el problema de vivienda, y por lo tanto no cuentan con las ventajas de haber sido diseñados con los criterios del diseño bioclimático.

Como es bien sabido, se ha utilizado la vegetación como un elemento para la afectación del clima a favor del confort y bienestar del ser humano. En este campo ya se ha dado un gran paso, actualmente se investiga en la Facultad de Arquitectura del Paisaje, Universidad de Chapingo y otras instituciones, los aspectos térmicos del sustrato y la resistencia de algunas especies de plantas utilizadas en los sistemas de naturación, como es el caso del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México, que muy en particular investiga la diversidad, uso sostenible, manejo, conservación y la importancia cultural de las familias de plantas como son: Agavaceae, Cactaceae y Crassulaceae que son utilizadas en las azoteas verdes.

También encontramos en nuestra investigación, que los sistemas de naturación en azoteas trabajan como aislantes térmicos reduciendo la transferencia del flujo de calor a través de las diferentes capas que las componen. Motivo por el cual se dice que la implementación de una azotea verde “aumenta” la temperatura al interior de los espacios hasta 8° C en invierno. Y que además, los sistemas de naturación también son utilizados como sistema de enfriamiento,

“reduciendo” la temperatura al interior de los espacios hasta 4° C en verano.<sup>1</sup> No es precisamente que un sistema de naturación aumente y disminuya la temperatura al interior de los espacios, dicho en otras palabras, una azotea con un sistema de naturación regula la temperatura al interior de los espacios, ya sea como aislante térmico o como sistema enfriamiento según el clima en dónde se esté implementando la azotea vegetal.

Al dar inicio a la búsqueda de información sobre azoteas verdes visitando al Dr. Gilberto Navas en la Universidad de Chapingo, se encontró que a pesar de las investigaciones que se realizan referente a sustratos y vegetación en azoteas verdes, los investigadores de las universidades van un paso atrás de los instaladores-vendedores de estas. Continuando así la investigación sobre lo que existe referente a las azoteas verdes a nivel mundial y nacional, a partir de cuándo se implementan, hacia donde van las tendencias, la normatividad aplicable para la implementación y programas ambientales que las promueven. Siendo el sector privado quien instala los sistemas de naturación en las azoteas de sus edificios por iniciativa propia, pero sin permitir el acceso para ser visitadas, mientras que las azoteas verdes que son instaladas por las instancias de gobierno, se encuentran en deterioro.

Bajo este escenario, el Objetivo General de esta tesis es:

La elaboración de un modelo para la implementación de un sistema de naturación en las azoteas planas derivado de la investigación sistémica, y muy en particular, explorar e identificar los fundamentos teóricos y tecnológicos acerca de los sistemas de naturación que proporcionen el conocimiento necesario para poder diseñar, desarrollar, implementar y operar una herramienta para el diseño de estos sistemas de naturación en las azoteas.

El estudio teórico y la evidencia empírica de la presente investigación, dan como resultado un modelo conceptual metodológico (MCM), el cual ha de interpretarse como una primera aproximación teórico-práctica, que demuestre la viabilidad de su desarrollo y la utilidad que puede tener como herramienta durante el diseño, desarrollo e implementación de espacios naturados.

Con base al estudio teórico realizado, la autora de esta tesis propone que para diseñar un espacio naurado se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos: Socioeconómico,

---

<sup>1</sup> Artículos de la Dra. Alma Rosa Ortega Mendoza

- Diseño de modelo paramétrico para evaluar el desempeño de una cubierta verde
- Esbozo comparativo de modelos para el diseño térmico de cubiertas vegetales
- Comparación del desempeño térmico de una techumbre tradicional vs. Una techumbre con cubierta verde

Normativo, Ambiental y Tecnológico. Ver figura 1. Una descripción con detalle del modelo se presentará en los siguientes capítulos.

El documento que aquí se presenta está dividido en seis capítulos, Antecedentes, Análisis Teórico, Componente Socioeconómico y Componente Normativo, Componente Ambiental, Componente Tecnológico y el último, el del Estudio de Caso. Más un apartado al final del capítulo 2, que presenta la organización del modelo conceptual metodológico MCM para su investigación.

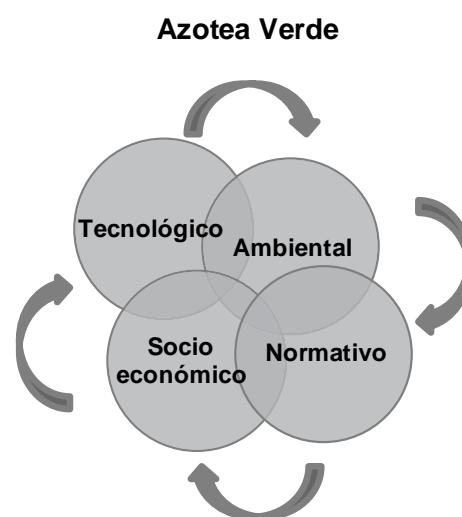


Figura 1 Componentes a considerar para el diseño de un espacio naturado

Los antecedentes nos muestran la evolución de las azoteas verdes hasta como las conocemos hoy en día, dejándonos ver cómo lo único nuevo es el nombre de azotea verde, ya que la utilización de vegetación en las cubiertas, data desde la antigua Mesopotamia entre los siglos XXII – XXV a.C.

En el análisis teórico se plantea que actualmente, tanto en el mundo como en México, el uso de los espacios naturados, no solo son instalados con la finalidad de los beneficios térmicos o de llevar a las ciudades hacia la Sustentabilidad, si no con la de obtener beneficios fiscales y retribuciones económicas de un valor ambiental, como son las Certificaciones de Excelencia y Eficiencia. Se ejemplifican los sistemas de naturación utilizados en distintas ciudades y los motivos por los cuales se implementan.

Para lograr conocer los sistemas de naturación utilizados actualmente, se recurrió a la utilización del sistema de información ISI Web para consulta de revistas indizadas en la base de datos de la web of science en un periodo de ocho años (2006-2013), además de platicar con los biólogos Gilberto Navas de la Universidad de Chapingo, Rocío López de la Facultad de Arquitectura del Paisaje y Jerónimo Reyes del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Todos ellos expertos en azoteas verdes.

Logrando con lo anterior, identificar todos los elementos a considerarse para el correcto diseño, implementación y operación de un espacio naturado, agrupados en los cuatro componentes ilustrados en la figura 1. Y que además, esa agrupación es en base a la investigación de cada elemento en los capítulos del 3 al 5, organizados de la siguiente forma:

### Capítulo 3. Componente socioeconómico

- Aceptación
- Función
- Incentivos
- Costos
- Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007

### Capítulo 4. Componente ambiental

- Clima
- Factores climáticos
- Elementos climáticos

### Capítulo 5. Componente tecnológico

- Estructura
- Sustrato
- Vegetación
- Sistema de capas:
  - Membrana anti raíz
  - Drenante
  - Filtrante
- Mantenimiento:
  - Riego
  - Control de plagas
  - Control de plantas no deseadas
  - Fertilización

La finalidad del desarrollo de cada uno de los elementos agrupados en cuatro componentes del MCM, es resaltar la importancia de cada uno y el por qué se deben tomar en cuenta al diseñar, desarrollar, implementar y operar un sistema de naturación. La organización del MCM para su investigación, se presenta en el apartado 2.7 de la presente tesis.

Por último, el capítulo 6 es del estudio de caso donde se aplica el MCM, como una herramienta que facilita orientar el conocimiento necesario para poder diseñar, desarrollar e implementar dichos sistemas. Se tomó como ejemplo, el proyecto de azoteas verdes para la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, que la Rectoría solicitó al despacho de arquitectura “*Nosotros Terra*” a través de la Comisión del Plan Institucional hacia la Sustentabilidad PIHASU.

Para la aplicación del MCM en este proyecto, se respetaron los espacios seleccionados por la Comisión<sup>2</sup>, ya que la ubicación es la idónea según el análisis climático para la zona de Azcapotzalco, también se respeta el concepto basado en los Textiles de Gunta Stölzl<sup>3</sup> que se pretende lograr con las diferentes especies.

---

<sup>2</sup> Entiéndase por Comisión (a los miembros integrantes de esta), del Plan Institucional hacia la Sustentabilidad PIHASU-UAMA

<sup>3</sup> Gunta Stölzl (5 de marzo 1897-22 de abril de 1983) fue una artista alemana especializada en el arte textil que jugó un papel fundamental en el desarrollo del taller de tejidos de la Escuela Bauhaus. Generó un gran cambio logrando que obras pictóricas individuales se convirtieran en modernos diseños industriales.



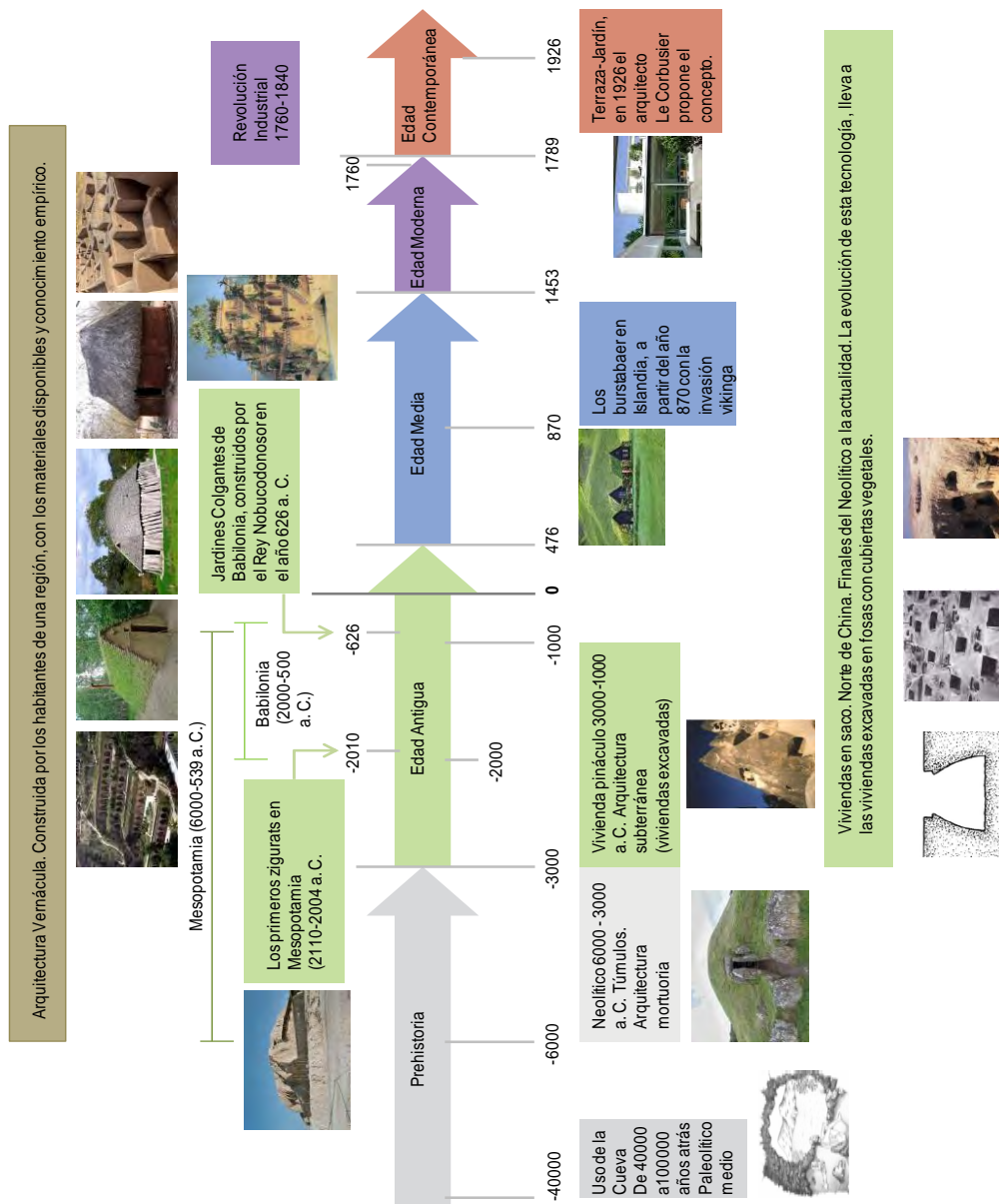
# Capítulo 1

---

## 1. Antecedentes

## 1.1. Cronología del uso de la vegetación en las cubiertas

Con el objeto de comprender la evolución de las cubiertas vegetadas, es importante conocer desde cuándo se han utilizado, cuáles son sus características, la función que cumplen y el entorno que propicia el uso de éstas. Para tal efecto, en el presente capítulo se realiza un resumen histórico de la evolución de las azoteas verdes desde épocas remotas de la prehistoria hasta como las conocemos en la actualidad, se ha decidido presentarlas en orden cronológico para facilitar su comprensión, como se puede apreciar en la siguiente línea del tiempo.



## 1.2. Prehistoria

Cronológicamente podemos decir que los antecedentes de las azoteas verdes son las cuevas, los primeros hombres las utilizaban para resguardarse y protegerse de las inclemencias del clima y del ataque de los animales, podemos encontrarlas desde el paleolítico, época en la que



Figura 2 Hombre cavernícola (*Homo sapiens arcaico*). Fuente: Senosiain, 1996

el ser humano era nómada y al estar en constante movimiento utilizaba lo que cada entorno le ofrecía de manera natural ya sea en forma de espacios listos para habitar o, en caso que no hubiera tal, materiales que podría utilizar para construirlos. Los primeros hombres en habitar las cuevas (bocas de las cuevas), 40,000-100,000 años atrás. Ver figura 2.

Una de las pruebas del uso de cuevas como espacios habitables, es la gran cantidad de pinturas rupestres de diferentes épocas que se han encontrado en todo el mundo, entre las más importantes podemos nombrar la Cueva de Altamira, en España que tiene una sala, denominada “Capilla Sixtina” por su belleza, que data de hace 35000 años aproximadamente. En nuestro país, uno de los ejemplos más importantes que se han encontrado son los de la Cueva de San Borjita, en Baja California, con una antigüedad de 7500 años. Ver Figura 3.

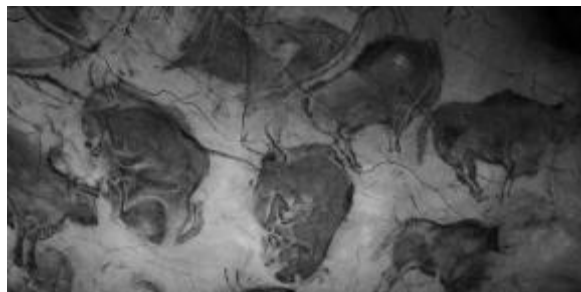


Figura 3 Imagen de la sala principal de las cuevas de Altamira en España.

El uso de vegetación en las cubiertas puede ser tan antiguo como el arte rupestre, ya que se cree que el hombre Neandertal en su evolución al Cromagnon construía sus propios refugios, temporales y portátiles con ramas y hojas, en algunos casos hacían excavaciones que protegían con tierra y



Figura 4 Hombre Neandertal utilizando la vegetación como refugio. Fuente: Senosiain, 1996

vegetación dando el primer paso a la vivienda semienterrada con cubiertas vegetadas.<sup>4</sup> Ver Figura 4.

Posteriormente, durante el Neolítico (Año 6 mil hasta el año 3 mil antes de nuestra era), una vez que se crearon los primeros asentamientos humanos y se inició la agricultura como fuente de alimento para las comunidades establecidas, el ser humano aprendió sobre su propio entorno y el clima: el viento, la lluvia, la orientación solar y las estaciones climáticas marcaron los ritmos y las formas de vida así como la arquitectura de los pueblos y los utilizaron tanto para crear alimentos como para ubicar correctamente sus construcciones.

Uno de los ejemplos de esta época son los Túmulos, que en realidad corresponden a la arquitectura mortuoria, pero que podemos asumir como ejemplos de la arquitectura civil europea, ya que las personas daban a los muertos el mismo tratamiento que se daban a sí mismos puesto que consideraban que el muerto seguía teniendo las mismas necesidades que



los vivos pero en otra dimensión. Esta arquitectura neolítica europea presenta muros perimetrales relativamente bajos, ordenados de forma circular, que proveen soporte a un entramado de madera donde se colocan piedras y tierra con una capa vegetal hacia el exterior, en forma de cubierta. Ver Figura 5.

Figura 5 Túmulo del Neolítico de Anglesay, Gales y Necrópolis de Cerveteri, Italia.

### 1.3. Edad Antigua

Se puede decir que es aquí cuando el hombre rupestre al contar con las primeras herramientas, el conocimiento adquirido del clima y la organización, es que deja de usar las cuevas como refugio y construye las primeras viviendas excavadas, conocidas también como arquitectura subterránea.

#### Viviendas en saco

En base a la dirección de la excavación se encuentran 4 tipos principales de arquitecturas de excavación que son: horizontal, vertical, en formas singulares (viviendas pináculo) y combinadas (horizontales y verticales). (Rudofsk, 1964)

<sup>4</sup> Javier Senosiain es un arquitecto mexicano exponente de la denominada arquitectura orgánica. Egresado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Desarrolla una arquitectura acorde al entorno donde se establece.

Desde finales del Neolítico y hasta la actualidad, se pueden encontrar las viviendas en saco en el norte de China, que son un claro ejemplo de excavaciones horizontales. Gracias a la espesa capa de loess y a la fina arena calcárea consolidada del valle del Río Amarillo, es que se pueden excavar agujeros de forma circular para lograr estas primeras viviendas.

### **Viviendas trogloditas**

La tecnología constructiva utilizada en las viviendas en saco, condujo a un segundo tipo de configuración que son las viviendas excavadas en fosas, en estas viviendas incluyen paredes bien aplomadas de hasta de 2.5 metros de profundidad, las plantas pasan a ser de forma rectangular y de mayores dimensiones, e incluso intercomunicadas unas viviendas con otras hasta construir ciudades enteras. Se cree que esto fue debido a la falta de tierras cultivables, y al enterrarse, aprovechaban las cubiertas para cultivar encima de estas. Teniendo al centro un patio que cumple las funciones de: organizar el espacio distribuyendo las habitaciones dando lugar a un espacio común que además de captar la energía de sol para calentar, permite la iluminación de las habitaciones.

Este tipo de viviendas excavadas, también se desarrolló en Europa, en países como España, Francia y Portugal, por citar algunos lugares, estos conjuntos estaban conformados de forma lineal y unidos a través de senderos exteriores. Estaban bien orientados, por lo que se beneficiaban del microclima generado. Esta arquitectura troglodita se desarrolla en sitios tan distantes y con climas tan diferentes, debido a la respuesta de la masa térmica de la tierra a climas extremos. Ver Figuras 6 y 7.



**Figura 6** Patio de vivienda troglodita en China

Fuente:  
[http://www.toniweb.com/index.php/Tunez/Matmata/vivienda\\_6](http://www.toniweb.com/index.php/Tunez/Matmata/vivienda_6)



**Figura 7** Vivienda troglodita en Matmata, Túnez

Fuente:  
[http://www.toniweb.com/index.php/Tunez/Matmata/vivienda\\_6](http://www.toniweb.com/index.php/Tunez/Matmata/vivienda_6)



**Figura 8 Ejemplo de vivienda semienterrada encontrada en Escocia**

Muy brevemente se puede decir que, de se han encontrado vestigios de viviendas semienterradas, es decir, una forma intermedia entre las viviendas subterráneas y las viviendas sobre el suelo. Se cree que tanto el techo como los muros eran del mismo material, o que al menos los techos tenían cubierta vegetal. Ver figura 8.

Es relevante resaltar las diferencias y similitudes entre estas casas que se encontraron en los restos arqueológicos de diferentes zonas en el mundo.

Semejanzas:

- Aprovechamiento de una hendidura en el terreno.
- O la realización de una excavación que después cubrían generando el espacio a utilizar.

Diferencias:

- Cubierta de gran inercia térmica, construida con troncos, ramas y recubiertos con tierra.
- Cubiertas completamente vegetales.

## Los Zigurats

Aproximadamente mil años después del registro de las primeras viviendas excavadas, en zonas como Mesopotamia, que en ese entonces alojaba civilizaciones muy desarrolladas, se encuentran los Zigurats, que son construcciones piramidales escalonadas para albergar templos religiosos.

Son construcciones que se levantan generalmente en zonas muy planas por lo que llamaba la atención desde la lejanía, algunos autores consideraban que la forma de los mismos respondía al a necesidad de elevarse el espacio dedicado al rezo hacia las alturas, donde se encontraba Dios.

La base podía ser de forma rectangular, ovalada o



**Figura 9 Zigurat de la antigua Mesopotamia.**

Fuente: [www.nationalgeographic.com](http://www.nationalgeographic.com)

cuadrada, el acceso se realizaba mediante escaleras situadas en los lados del zigurat o que ascendían en espiral hasta la cima, distribuidas de tal manera que quedaban terrazas en las cuatro orientaciones que mantenían con vegetación variada que incluía algunos arbustos. Ver Figura 9.



**Figura 10** Zigurat de Kashan, el más antiguo. Irán. Fuente: [www.nationalgeographic.com](http://www.nationalgeographic.com)

Uno de los mejor conservados es el de Choga Zanbil en el actual Irán. El zigurat más antiguo que se conserva es el de Kashan construido en el III milenio a. C. también en Irán. Ver Figura 10.

### **Jardines Colgantes de Babilonia**

Posteriormente, en la misma zona geográfica, y más específicamente en Babilonia, el rey Nabucodonosor II en el año 600 a.C., retoma la idea de los Zigurats para construir los Jardines Colgantes como un regalo para su esposa.

Existe una leyenda de que los jardines fueron construidos en el siglo XI a. C. Tiempo en el que reinaba en Babilonia Shammuramat, llamada Semíramis por los griegos.

Los Jardines se soportaban sobre arcos de piedra y ladrillo, luego se colocaba una capa realizada con carrizo y alquitrán. “Posteriormente sobre los carrizos se colocaban hiladas de barro recocido y se bañaba todo con plomo para evitar que la humedad de la tierra se filtrara a la cubierta”. (García, 2001)

Ver Figura 11.



**Figura 11** Jardines Colgantes de Babilonia

Fuente: <https://anaaymia.files.wordpress.com/2012/07/jardines-colgantes-de-babilonia1.jpg>

Otros ejemplos dignos de mencionar de la edad antigua, respecto al uso de la vegetación en las cubiertas, son precisamente los monumentos mortuorios.

Mausoleo de Adriano, (135 a.C.) ubicado en el castillo de Sain't Angelo en Roma, Italia. También desarrollado como un cilindro, está circunscrito dentro de un muro cuadrado que

presenta en las cuatro esquinas otros tantos cilindros más pequeños, a manera de torres de vigilancia. El cilindro central está estructurado de tal manera que sostiene una capa de suelo lo suficientemente gruesa para permitir el crecimiento de cipreses y tener en el centro una estatua de Adriano. Actualmente se puede visitar el monumento y disfrutar de su belleza. Ver Figura 12.

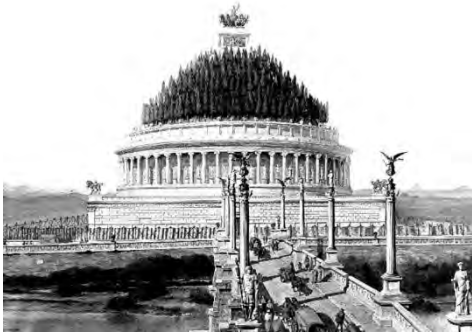


Figura 12 Mausoleo de Adriano en Roma, Italia

Fuente: <http://imperiromanodexavierv.alderas.blogspot.mx/2015/05/mausoleo-de-adriano.html>

Otro ejemplo muy notable es el Mausoleo de Augusto, (29 a.C) ubicado también en Roma, Italia que, al igual que el anterior, se caracteriza por una planta circular con varios anillos concéntricos y al centro una cámara rectangular donde estarían los restos de Augusto, en la parte exterior, la gran tumba circular, medía 87 metros de diámetro estaba adornada con árboles de follaje perene y una gran escultura de Augusto.

Además del monumento en sí mismo, toda la estructura estaba rodeada de jardines que por la propia voluntad del emperador, podían ser visitados por el público en general.



Figura 13 Mausoleo de Augusto en Roma, Italia

#### 1.4. Arquitectura Vernácula

Uno de los aspectos más importantes a analizar es la arquitectura vernácula, misma que ha sido construida por los habitantes de una región, únicamente con su conocimiento empírico, el legado de generaciones anteriores y la experimentación, tomando en cuenta tanto los aspectos climáticos del entorno, los materiales con los que contaban y las características físicas de su entorno inmediato, así como las costumbres de su población.



Dado que esta arquitectura está profundamente relacionada con el entorno, la tipología de la misma varía según el lugar donde se encuentra por lo que se pueden encontrar mucha variedad



Figura 14 Vivienda Yaodong, China  
Fuente: <http://hoybolivia.com/Especial.php?>

en cuanto a tipología, materiales utilizados, vegetación, etc.

Un buen ejemplo de arquitectura vernácula son los Yaodong, “casa cueva” en el norte de China, sistema adoptado para proteger a los habitantes del clima árido. Ver Figura 14.

En los Montes Cárpatos y estepas forestales de Europa Oriental, específicamente en Ucrania, se construían viviendas Burdei, Grubenhäuser, estas viviendas son una combinación entre casa de adobe y cabaña de madera que se enterraban parcialmente en el suelo y cubrían con pasto las cubiertas inclinadas con la finalidad de permitir la escorrentía tanto de agua como de nieve, este tipo de vivienda respondía al clima de montaña frío de esa zona. Ver Figura 15.



Figura 15 Vivienda Burdei,  
Grubenhäuser, Ucrania

Fuente:  
<http://www.earthhomesnow.com/burdeis.htm>

Otro tipo de arquitectura vernácula, es la casa Comunal, que los vikingos cubrían con pasto. En arqueología y antropología, una casa comunal es una edificación grande y estrecha sin habitaciones, que construyeron para habitar diversos pueblos en varias partes del mundo. Son viviendas comunitarias de uso arcaico, construidas generalmente de madera con estructuras. Ver Figura 16.



Figura 16 Casa Comunal  
Fuente: <http://ingehogar.com/vikingos-precursores-la-arquitectura-sostenible/>

Es importante mencionar que la influencia de estas casas se extendió hasta Vinlandia, Groenlandia e Islandia con las conquistas de los vikingos. Más adelante (al llegar a la Edad Media), ahondaremos un poco más sobre la influencia en Islandia del uso de la vegetación en las cubiertas.

En México la arquitectura vernácula tiene muchos ejemplos, los cuales varían de región a región ya que en cada caso las soluciones se dan según el clima, y los materiales con los que se cuentan.

Mientras que en el norte las soluciones están relacionadas con el uso de la tierra como el material más utilizado en la construcción, en el sur son el carrizo, la madera y la palma los materiales más comunes. Esto se debe no solo al hecho de que en el norte el recurso madera era más escaso, sino también por la necesidad de protegerse de un clima mucho más extremo, lo que crea la necesidad de tener una envolvente con masa térmica adecuada que aisle al ser humano completamente del clima exterior.

En cambio, en el sureste del país, el uso de estructuras ligeras para las paredes como la madera y el carrizo permitía estructuras muy ligeras que se mantenían muy ventiladas. Por otra parte el techo elevado, cubierto en su totalidad de una capa muy gruesa de palma y con salidas de aire, permitía que la vivienda se mantuviera seca, fresca y ventilada a pesar del clima cálido y húmedo de la región.

La Casa Maya en Yucatán y Paquimé en Chihuahua, son un claro ejemplo del uso de una construcción ligera en el sureste del País y de la construcción con tierra en el Norte. Ver Figuras 17 y 18.



Figura 17 Casa Maya, Yucatán, México  
Fuente:  
<http://inahchihuahua.gob.mx/sections.pl?id=43>



Figura 18 Paquimé, Casas Grandes, Chihuahua, México  
<http://www.metroscubicos.com/articulo/consejos/2012/11/22/vivienda-maya-una-solucion-constructiva-vigente>

Aunque no se ha encontrado rastro de uso de vegetación en las cubiertas en nuestro país, dentro de la arquitectura vernácula, el uso de tierra para el aislamiento en el norte y la gruesa capa de palma que se utiliza en el sureste, además de otras investigaciones más recientes, sugieren que son soluciones adecuadas para cualquier zona del país, siempre y cuando se consideren los aspectos específicos de cada zona.

Esta arquitectura es un ejemplo a seguir en muchos casos, ya que genera microclimas al interior de las viviendas obteniendo así cierto grado de confort térmico. Por otra parte, el uso de materiales propios del lugar resulta en un impacto ambiental muy reducido ya que, por una parte, al cumplir estos su ciclo de vida, son devueltos a la tierra sin contaminar y por otra, al no requerirse ni procesos industriales ni transporte para la utilización de los mismos, la liberación de CO<sub>2</sub>, es mucho menor que con materiales industrializados.

### **1.5. Edad Media**

En Escandinavia, los techos de hierba son utilizados para igualar la temperatura y crear un ambiente agradable al interior de las viviendas. Escandinavia es un término que se usaba en la antigua Roma (al norte de Germania), también conocida como península escandinava y que actualmente está ocupada por Noruega, Dinamarca y Suecia, los antiguos países vikingos.

Debido a que Noruega en su gran mayoría es abrupta y montañosa, únicamente el 3 por ciento de su tierra se puede considerar apta para cultivos, esa tierra sufrió una presión demográfica hacia el año 700. Y con la llegada de las velas, los escandinavos desarrollaron rápidamente barcos que combinaban velas y remos, resultando ideales para transportar sus exportaciones de artículos de lujo a los compradores de Europa y Gran Bretaña.

En su ir y venir como comerciantes, los escandinavos se vuelven vikingos, es decir, asaltantes, ya que se dieron cuenta que podían huir antes de ser alcanzados por barcos locales más lentos; de manera que los europeos no intentaron jamás responder con irrupciones en tierras vikingas y terminar así con sus asaltos. (Diamond, 2006)

### **1.6. Islandia**

En el año 870, Islandia es invadida para ser habitada por los vikingos hasta el año 930, cuando casi toda la tierra para el cultivo había sido ocupada o reclamada. Se puede decir que los

vikings llegan a Islandia por “error”, ya que muchos de sus barcos fueron desviados por el viento hacia el Norte.

Islandia está situada en el océano Atlántico, aproximadamente a 970 Km. al oeste de Noruega, debido a su ubicación en la dorsal mesoatlántica, es un país con gran actividad volcánica y geológica; este factor afecta en gran medida al paisaje del territorio islandés. El interior de la nación consiste en una meseta caracterizada por desiertos, montañas y glaciares, mientras que muchos ríos glaciales fluyen hacia el mar a través de las tierras bajas. Gracias a los efectos de la corriente del Golfo, tiene un clima templado en relación a su latitud y provee un entorno habitable. (Anon., 2012)

*“Islandia es el país más deteriorado de Europa desde el punto de vista ecológico. Desde los inicios de la colonización humana, la mayor parte de los árboles y la vegetación original del país ha quedado destruida y aproximadamente la mitad de los suelos originales ha sido erosionada y depositada en el océano”* (Diamond, 2006, p. 155)

Son cuatro elementos los que conforman el paisaje de Islandia, el fuego volcánico, que es aprovechado en la mayoría de los hogares para calentarse. El hielo, segundo elemento que origina casquetes que permanecen sobre gran parte del interior de la meseta de Islandia, a causa de la elevada altitud y de que se encuentra justo debajo del círculo polar ártico. El tercer elemento que conforma el entorno de Islandia es el agua, que cae en forma de lluvia o nieve y llega al océano a través de glaciares y del desbordamiento de los ríos. Por último, el elemento viento, Islandia es un lugar con mucho viento que la convierte vulnerable a la erosión.

El clima de la costa islandesa se clasifica como subpolar oceánico, que tiene veranos frescos y breves e inviernos suaves, con temperaturas que no bajan de los -3 °C. La corriente cálida del Atlántico Norte provoca temperaturas medias anuales mayores que las que se presentan en latitudes similares en otras partes del mundo. Las costas de la isla se mantienen sin hielo durante el invierno, a pesar de su cercanía al Ártico.

En general, la costa sur es más cálida, húmeda y ventosa que la costa norte. Las tierras bajas en el interior y en el norte de la isla, son más áridas. La temperatura más alta registrada en el país fue de 30,5 °C, por otro lado, la más baja fue de -38°C.

Esta ubicación septentrional de Islandia convierte a la agricultura en una actividad menos rentable. Mientras que la ceniza que periódicamente son expulsadas por las erupciones volcánicas, envenenan el alimento para el ganado.

Con la llegada de los vikingos a Islandia, se empezaron a explotar el suelo y la vegetación como si estos fueran a perdurar para siempre. No sabían que, tanto al suelo como a la vegetación de este país, les había tomado diez mil años formarse, si, muy lentamente, y aunado a esto, se erosionan demasiado rápido.

### 1.7. Los burstabaer

Así que la arquitectura de Islandia tiene influencias de los escandinavos, de la casa comunal pasa a ser casa vikinga con vegetación en las cubiertas, pasto básicamente, descansando sobre una estructura de madera con cortezas de abedul para evitar la humedad y las filtraciones. En Islandia, el sistema de madera y turba<sup>5</sup> evolucionó hasta llegar al tipo de construcción llamada burstabaer, con cubierta de turba y piedra. Utilizando dos tipos de techumbres, hellunthak y tróðthak, elaborada con estructura de madera, a la que colocan piedras, tierra y turba, y conformada de abajo hacia arriba por vigas de madera cepillada, turba, piedra y nuevamente turba, respectivamente, siendo esta última que aún se mantiene viva. Al tener varios elementos encimados, los burstabaer son construcciones con un buen aislamiento. Los burstabaer, son utilizados como refugios para el ganado, la hierba o los botes en las islas que se encuentran entre Islandia y Escocia. (López, 2010).

Ver Figura 19.



Figura 19 Típicas casas islandesas

Fuente: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/islandia-las-casas-que-precedieron-la-arquitectura-sustentable/>

<sup>5</sup> Turba, es un combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, y que al arder produce humo denso y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron;

Detalles constructivos de las casas vikingas adaptadas a los burstabaer. Ver Figuras 20 y 21.

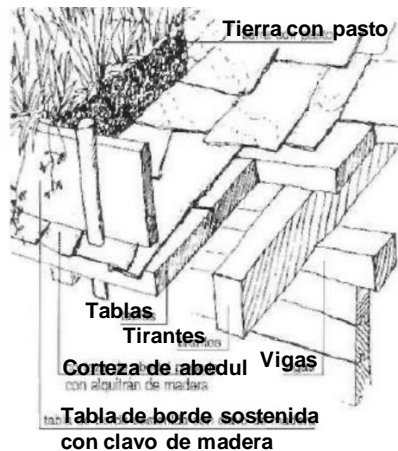
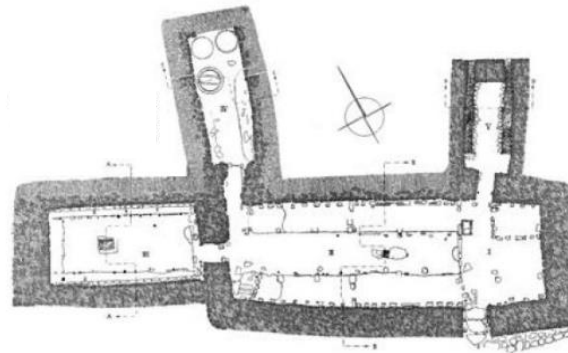


Figura 21 Detalle constructivo

Fuente:  
[https://issuu.com/techosverdes/docs/posgrado\\_o\\_clase\\_i](https://issuu.com/techosverdes/docs/posgrado_o_clase_i)



Esquema sistema constructivo

Figura 20 Esquema de sistema constructivo en planta

Dentro del periodo de la edad media, el único ejemplo relevante que se encontró de uso de vegetación en cubiertas, fueron las casas de la Islandia invadida y colonizada por los vikingos, así que podemos decir que el concepto de la casa comunal usado por los escandinavos, evoluciono a las casas vikingas con el uso de pasto en sus cubiertas y en Islandia evolucionaron a los burstabaer.

Aunado a lo anterior, y debido a que en la actualidad se considera a Islandia junto con los Jardines Colgantes de Babilonia el origen de la vegetación en las cubiertas, es que la autora decide ahondar un poco más en estas casas de la Islandia medieval, encontrando que es un claro ejemplo para entender la importancia del manejo responsable de los recursos.

## Post Revolución Industrial

La revolución industrial y luego el periodo posterior a las guerras, marcó un hito en la historia de la arquitectura, las nuevas tecnologías y la necesidad de reconstruir prácticamente todo Europa, generaron la necesidad de cambiar los conceptos tanto urbanísticos como arquitectónicos que se conocían hasta entonces.

De alguna manera esto provocó un quiebre en la relación que antes existía entre el hombre y la arquitectura con la naturaleza como agente articulador de la misma. Con el auge tecnológico y energético ya no hay la necesidad de respetar las formas de construcción, puesto que los nuevos materiales permiten rebasar cualquier límite impuesto por la resistencia física del material o por sus características térmicas. El ser humano ha alcanzado un desarrollo tecnológico suficiente como para eliminar cualquier barrera impuesta por la naturaleza de los materiales locales y es capaz de acceder a materiales y a energía que se genera en otras partes del mundo.

Es el auge del acero y del concreto armado, materiales que permiten la verticalidad de la arquitectura de manera que nunca antes se había hecho. Y aunque hay autores, arquitectos e ingenieros que mantienen una estrecha relación con el entorno a la hora de diseñar sus propuestas, el crecimiento demográfico, la especulación de la tierra y la necesidad de generar cada día más viviendas determinan que las zonas habitadas por el ser humano se transformen en áreas artificiales, con poca vegetación y mucho material procesado.

Esto ha creado zonas urbanas más calientes, problemas de inundaciones, de abastecimiento de agua, de uso de energías y recurso no renovables indiscriminadamente y muchos desequilibrios en el entorno natural.

## 1.8. Le Corbusier

Este fenómeno negativo era ya perceptible por arquitectos de la talla de Le Corbusier, que en 1926 presenta un documento donde expone sus ideas arquitectónicas enlistadas en cinco puntos. Ideas innovadoras para la época, haciendo uso de las nuevas tecnologías constructivas a base del hormigón armado, dentro de las cuales incluye los techos jardín como parte de una nueva arquitectura.

En ningún caso se trata de fantasías estéticas, sino de realidades arquitectónicas que implican una arquitectura absolutamente nueva, desde la vivienda, hasta el palacio.

Los 5 puntos de la arquitectura de Le Corbusier, fueron su fundamento teórico principal para poder desarrollar su propio lenguaje arquitectónico.

En 1914, Le Corbusier crea un sistema estructural con la ayuda del ingeniero Max Du Bois. Es una estructura fabricada con



Figura 22 Sistema estructural "Domino" creado por Le Corbusier

elementos estándar que podían combinarse libremente, permitiendo gran diversidad en el diseño de viviendas. Denominado “Sistema Domino” Ver Figura 22.

Sistema que le permite diseñar la casa Citrohan, donde logra desarrollar esos cinco de su nueva arquitectura que son:

- Pilotes
- Terraza-jardín
- Planta libre
- Fachada libre
- Ventana alargada

**La terraza-jardín:** para Le Corbusier las cubiertas planas de hormigón armado, no solo debían ser devueltas a la naturaleza en forma de jardín, sino que necesitaban protección debido a los cambios de temperatura. Además los propuso como calefacción para los espacios interiores.

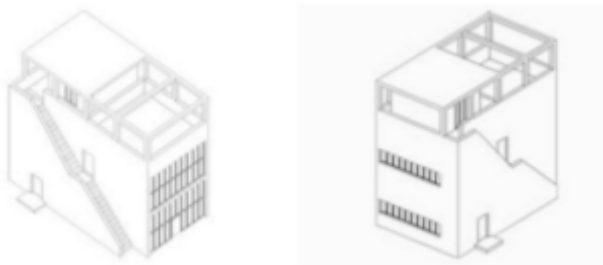


Figura 23 Casa Citrohan I que incluye la terraza-jardín en el solárium

Fuente: <http://es.slideshare.net/Divago/los-5-puntos-lecorbusier>

En un prototipo creado en el año de 1920 de la casa Citrohan I, Le Corbusier plasmo por primera vez dos de sus cinco principios conceptuales, las ventanas alargadas y el que nos atañe en el presente trabajo, la terraza-jardín, ubicada en el solárium del segundo piso. Como se puede apreciar en la Figura 23.

La casa Citrohan, es un despliegue de elementos funcionales en estado de equilibrio, finalmente en 1927 en la versión V de la Casa Citrohan logra la síntesis perfecta, en donde se ven reflejadas por primera vez las cinco ideas de la arquitectura propuestas por de Le Corbusier. Ver Figura 24.

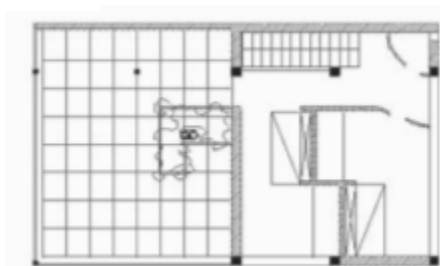


Figura 24 Casa Citrohan versión V



En las plantas arquitectónicas, Figura 25, se aprecia como toma el espacio tanto del dormitorio como de la sala de estar para convertirlos en terraza y balcón, a las que agrega macetas. Por lo que es importante resaltar, que este concepto de Le Corbusier, solo quedo como referencia y no es un referente.

Terraza



Balcón

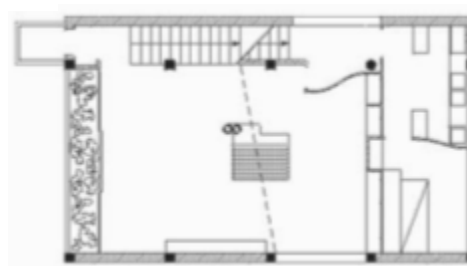


Figura 25 Plantas arquitectónicas de la casa Citrohan V

Pero el concepto de terraza-jardín de Le Corbusier que se redujo a la colocación de macetas en balcones, terrazas y azoteas, se puede observar durante las décadas de 1920 y 1930 con la expansión del Art Decó en México, movimiento significativo en la arquitectura que surge en Europa en la década de 1920. Ver Figura 26.



Figura 26 Terraza con macetas.  
Hipódromo Condesa, México

Fuente:

<http://www.icasas.mx/aggregatorDetail?adId=132092&aggregator=mitula>

Quiero terminar este capítulo con un ejemplo del uso de la vegetación en la cubierta que retoma el concepto de la cueva, aunque el motivo de su uso se haya modificado a lo largo de más de 35 mil años, el concepto de resguardarse de las inclemencias del clima prevalece. Actualmente se utiliza la cubierta vegetada como parte de la estética de los edificios a tiempo que cumple con la función de aislamiento térmico y que se denominada, arquitectura orgánica del Arq. Javier Senosiain, que desde la etapa de diseño incorpora formas altamente orgánicas las

mismas que muchas veces cubre en casi toda su extensión con vegetación, en la mayor parte pastos. Ver Figura 27.



Figura 27 Casa orgánica del Arquitecto Javier Senosiain  
Fuente: <http://www.arquitecturaorganica.com/casa-orgaacutenica.html>

Así que, como pudimos observar en el presente capítulo, iniciamos con cuevas y terminamos con ellas.

Por todo lo anterior, podemos decir que el uso de la vegetación en las cubiertas remonta al inicio de la prehistoria, cuando el ser humano tenía una relación muy estrecha con su medio ambiente.

Actualmente estamos enfrentando problemas medioambientales precisamente porque ha habido una ruptura en esta relación, hombre-ambiente, por lo que es importante volver a retomarla desde varios frentes.

La Incorporación de la vegetación en las azoteas, podría ser una de las formas más rápidas y adecuadas que tenemos para volver a tener contacto con la naturaleza, aprovechar sus ventajas para nuestro propio bienestar y mantener un equilibrio ecológico tan importante para nuestra supervivencia.

## **Capítulo 2**

---

### **2. Análisis Teórico. Sistemas de Naturación, hoy**

## 2.1. Qué es la Naturación

“La Naturación de las áreas edificadas es una ciencia, una técnica, una disciplina aplicada que tiene enormes implicancias para el desarrollo urbano y para la protección medioambiental”.<sup>6</sup>

Es un tratamiento técnico con base en vegetación, la cual es adaptada en superficies edificadas, ya sean horizontales, verticales o inclinadas. Incorporando capas de sustrato y vegetación que deben ser especialmente adaptadas a las condiciones físicas y climáticas del sitio en que se instala, logrando así una superficie vegetal inducida.

Dicho de forma simple, la naturación es la incorporación de vegetación en superficies edificadas a través de un tratamiento técnico especializado. La naturación contribuye a mejorar los efectos negativos de la pérdida de áreas verdes, reducir el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire en el área urbana. Favoreciendo la renovación de las masas de aire, el incremento en la calidad del aire, regulación de la temperatura y humedad.<sup>7</sup>

Pero el término “naturación” como tal, no existe en la lengua española, *es posiblemente una interpretación del vocablo inglés Green roofs, que quiere decir techos verdes, o de eco-roofs, cubiertas ecológicas.*<sup>8</sup>

Sin embargo, podemos decir que el término no se empezó a utilizar solo, se empezó a utilizar como “naturación urbana”, y nació debido a la necesidad de los problemas de urbanización como son: la contaminación por el CO y CO<sub>2</sub> produciendo un calentamiento de la atmósfera, la aparición del efecto invernadero por la falta de circulación del aire y las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, procedentes de las ciudades, las cuales podrían estar entre el 60 y 70 %, <sup>9</sup> entre otros. Además de la preocupación por el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente, que se observaba desde mediados del siglo XX.

Entonces podemos decir que, *la naturación urbana es la acción de incorporar la vegetación al medio urbano con el objetivo de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente.* (Urbano-López, 2013)

<sup>6</sup> Prof. Dr. DRS. H.C. Ernet Lindeman – Decano de la Fac. de Agronomía y Horticultura – Univ. Humboldt de Berlín

<sup>7</sup> <http://www.amenamex.org/webv2/#top>

<sup>8</sup> Alejandro Cabeza Pérez. Arquitecto por la Escuela Nacional de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>9</sup> Cifras tomadas del Global Report on Human Settlements 2011 - UN-HABITAT.

Y como podemos ver, son términos para describir que estamos incorporando vegetación ya sea al medio urbano o a superficies edificadas, ya sean horizontales, verticales o inclinadas.

### **Sistemas de Naturación**

Como ya se mencionó, un sistema de naturación es el tratamiento técnico de superficies edificadas, mediante el cual se crea una superficie vegetal inducida. Este nos permite recuperar e incorporar vegetación en cualquier tipo de inmueble.

A nivel mundial, los sistemas de naturación se están utilizando en zonas densamente urbanizadas debido a los beneficios que pueden aportar, tales como: ambientales, económico y sociales, producción de oxígeno y el consumo de dióxido de carbono (esto debido a la fotosíntesis que realizan todas las plantas), retención de contaminantes y limpieza del aire gracias a que la vegetación captura el polvo y las partículas suspendidas que son transportadas por el aire, así como las partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles las cuales son atrapadas por las hojas de las plantas. (Falcón, 2007). Además, las áreas naturadas generan estimulación positiva a los sentidos y beneficios psicológicos para las personas que están en contacto con la vegetación, de hecho, se puede decir que de las primeras azoteas verdes instaladas en la época actual, fueron con fines terapéuticos en hospitales y clínicas, ya que se considera que el contacto con la naturaleza es relajante y tranquilizador reduciendo el stress, así como el incremento en la salud emocional y física de los enfermos, contribuyendo a su recuperación.

Un claro ejemplo de los beneficios en la salud de los enfermos al estar en contacto con la vegetación, es en el hospital de tuberculosos de Huipilco diseñado por el arquitecto José Villagrán García en 1929, el arquitecto descubre que los tuberculosos se curaban con el sol y en contacto con el ambiente, por lo que todas las habitaciones del hospital tienen vista a los jardines y a todas les entra el sol.

Los sistemas de naturación retienen gran cantidad de agua de lluvia, la cual es liberada lentamente por medio del sistema de drenado y por medio de la evaporación, contribuyendo a evitar en cierta medida la saturación del sistema de drenaje. Pero esta cualidad de la planta, no evita que se tenga que hacer un proyecto pluvial para su posterior reutilización.

Además, los sistemas de naturación contribuyen a la disminución en el consumo de energía utilizada en la climatización artificial, reflejándose en la economía, ya que el sistema mejora el comportamiento térmico de la edificación.

Con la implementación de un sistema de naturación, se logra un incremento al valor agregado del inmueble hasta en un 15%. (López, 2010).

Los sistemas de naturación también proporcionan un confort acústico, ya que reducen el ruido por medio de la absorción, reflexión y deflicción, gracias a la capa de sustrato.

Al implementar los sistemas de naturación se puede reducir el efecto isla de calor, ya que al incrementar con estos el porcentaje de áreas verdes permeable, estas enfrían el ambiente al liberar el vapor de agua retenida en el sustrato y en la vegetación<sup>10</sup>. Ver sistema en la siguiente figura.

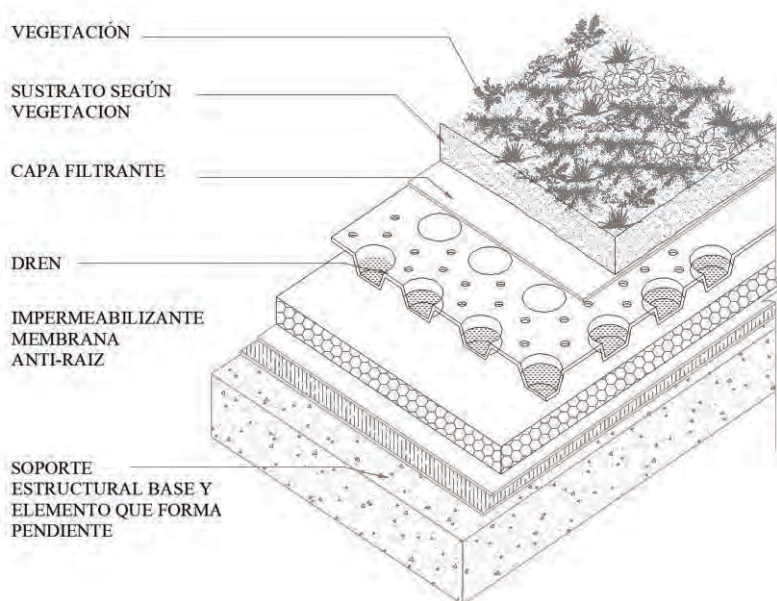


Figura 28 Sistema de naturación. EP

A partir del aprovechamiento de las cubiertas, según su uso, tratamiento y peso, estas se clasifican en: extensivo, semi-intensivo e intensivo. Ver Figura 30.

<sup>10</sup> <http://www.sma.df.gob.mx/planverde/>

**Intensivo**, es el que convencionalmente se ha usado como un jardín de azotea, aplicando los principios del diseño paisajístico, pudiéndose realizar una variedad de actividades recreativas-pasivas en el espacio, haciéndolo habitable.

**Semi-intensivo** es básicamente la combinación entre un jardín de azotea y la naturación de una cubierta, con algunos usos en menor medida.

**Extensivo**, en este caso se refiere a muy baja actividad de uso habitable, incluso nulo, con tratamiento y apariencia natural gracias a la vegetación.

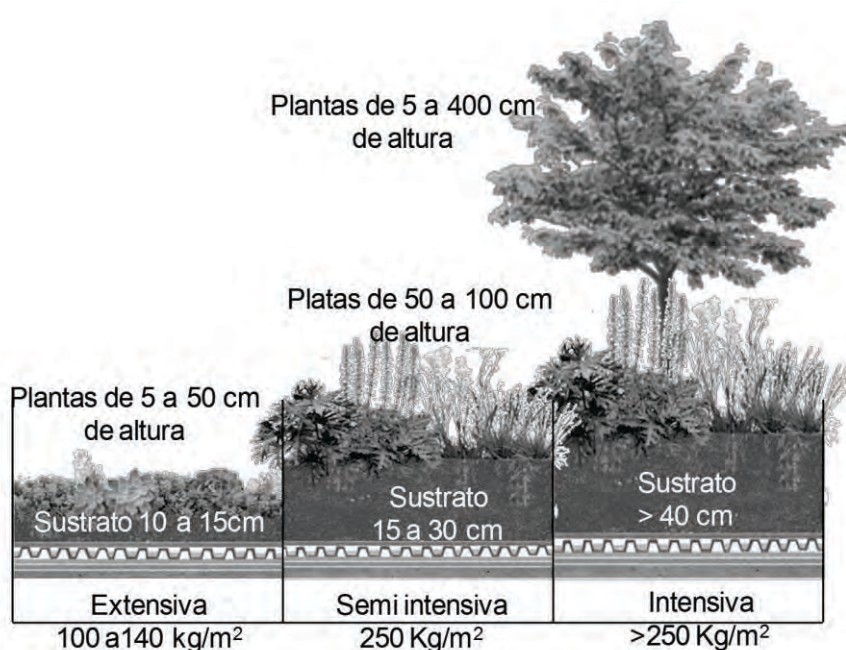


Figura 29 Clasificación de cubiertas según su uso, tratamiento y peso

## 2.2. La naturación en el mundo

A nivel mundial, los países europeos son los primeros en implementar los sistemas de naturación por diferentes motivos como son: ambientales, disminución del efecto isla de calor, mitigar la pérdida del paisaje natural entre otros. Ofreciendo a quienes instalan un sistema de naturación algún tipo de estímulo, y posteriormente su instalación se vuelve un requisito.

Pero la actual tecnología de los techos verdes comienza en Alemania, donde en 1971 Gerda Gollwitzer and Werner Wirsing publicaron un libro titulado: *Áreas habitadas de los techos, transitables y cubiertas por vegetación; es allí donde nace el concepto moderno de los “techos vegetales”*. Actualmente, Alemania es el país que lidera este campo.<sup>11</sup>

A continuación, se muestran algunos ejemplos de implementación de sistemas naturados en ciudades del mundo que son pioneras en la instalación de techos verdes, que lo hacen a gran escala, que lo tiene bien establecido en Planes e incluso en su legislación y que siguen innovando en la implementación de vegetación en sus azoteas.

**Alemania.** No solo es uno de los primeros países en implementar los sistemas de naturación en sus azoteas, es el que más ha impulsado el uso de los mismos, *principalmente* con un enfoque ambiental, para mitigar la pérdida del paisaje natural y del hábitat para la fauna. Cerca del 43% de las ciudades en este país ofrecen algún tipo de incentivo para la implementación del sistema. En el año 2000 contaba con más de 15 millones de metros cuadrados naturados y para el 2002, una de cada 10 azoteas contaba con un sistema naturado. Ver Figura 31.



Figura 30 Sistema de naturación en Alemania, de los primeros países en implementarlos

**Chicago.** Esta ciudad trabaja para llegar a ser la más verde de los Estados Unidos, por lo que lo hace a gran escala a través de un Plan bastante ambicioso de 7,000 millones de dólares para incorporar vegetación en las azoteas y en cualquier espacio donde sea posible. El motivo principal de esta acción, es reducir el efecto isla de calor. Actualmente, esta ciudad cuenta con 359 techos verdes, lo que representa más de medio millón de metros cuadrados. Ver Figura 32.

<sup>11</sup>Luis Bentancor, arquitecto especializado en arquitectura sustentable.





**Figura 31** Sistema de naturación en Chicago, pretende ser la ciudad más verde de USA. Foto: De Tony The Tiger, CC BY-SA 3.0

**Portland.** Es un ejemplo de una política responsable con el ambiente, independientemente de la política a nivel Federal de los Estados Unidos, la ciudad está desarrollando una política para poder replantear la ciudad desde el punto de vista sostenible en el uso de sus recursos. En 2011 se instalaron 9,476m<sup>2</sup> de azoteas verdes (Ecoroof). Un concepto nuevo que utiliza la ciudad de Portland, es un plus que se le da al techo verde y consiste en incluir una planta de filtrado que beneficia el uso de ceniza ligera como abono orgánico.



**Figura 32** Sistema de naturación en Portland  
Fuente: Plan Verde

Esto permite que no se requiera del riego durante el verano. Las azoteas verdes son parte de una estrategia de llevar la naturaleza a la ciudad, con lo que se pretende mejorar la salud mental y física, aumentar el valor de la propiedad, el ahorro de energía, proteger las áreas naturales y mejorar la vida silvestre. Ver Figura 33.



**Figura 33** Sistema de naturación en Toronto, azotea del Ayuntamiento

Fuente: <http://www.ecointeligencia.com/wp-content/uploads/2013/06/toronto-techos-verdes-ayuntamiento.jpg>

**Toronto.** En esta ciudad están decididos a ver “florecer” sus techos”. Así que, Toronto se convirtió en la primera ciudad de Norteamérica en incluir en su legislación que todas las construcciones nuevas debían tener cubiertas vegetales. Legislación que fue aprobada en 2009 por el Ayuntamiento, y entró en vigor en 2010, así que a partir de

ese año, todos los edificios nuevos tienen cubiertas vegetales, ya sean de uso, comercial, residencial o institucional. En el 2012, la legislación incluyó a los de uso industrial. El Ayuntamiento de la ciudad de Toronto, reporta a través de su sitio web, que la ciudad cuenta con 444 techos verdes, lo que equivale a más o menos 196,000 m<sup>2</sup>. Los principales motivos de su implementación es para reducir el efecto isla de calor en verano, reducir las pérdidas conductivas e incrementar masa, ya que en invierno se tiene temperatura de hasta 40° C bajo cero. Ver Figura 34.

**Tokio.** Al convertirse en el centro de la política y la economía de Japón, el crecimiento de esta urbe conlleva desafíos significativos, tales como un deterioro en la calidad del aire ante el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El gobierno implementa los techos verdes para mejorar la calidad del aire, captación del agua de lluvia y disminuir los efectos de isla de calor. En 2002, incluyó como requisito que todos los edificios nuevos por cada 1000 metros cuadrados de suelo, deben naturalar el 20% de sus azoteas con el fin de instalar 1,200 hectáreas de naturación para el año 2011 y reducir la temperatura del centro de la ciudad, 1° C. Ver Figura 35.



Figura 34 Sistema de naturación en Tokio.  
Techo en verde en estación

Fuente: <http://jptower-kkitte.jp/>

## 2.2. La naturación en México

Aún cuando la implementación de vegetación en los techos se remonta hasta por lo menos los Jardines Colgantes de Babilonia, el movimiento de techos verdes moderno se ha abierto paso en diferentes países de Europa y Estados Unidos donde hace años las políticas gubernamentales han alentado o exigido techos verdes.

Sin embargo, en 1985 ya se había implementado vegetación en las azoteas de las cocinas del Hotel Regina de Los Cabos México<sup>12</sup>, con fines estéticos y de concepto de diseño. Ya que, el Hotel se ubica en la península de Baja California, con su paisaje semidesértico, la incorporación de vegetación le hacía parecer un “oasis”. Ver Figura 36.

Aún sin usarse en ese entonces el término naturación, ya se implementaba vegetación, básicamente en Hoteles, Hospitales y Escuelas.



Figura 35 Hotel Regina, Los Cabos. Se implementó vegetación en la azotea de la cocina. Foto: SIGGYOO2 y L ALLAN YAKE

### Ciudad de México

Durante el periodo de Gobierno 2006-2012, se adquirió la visión de ciudades sustentables y con ello la implementación de sistemas de naturación en las azoteas básicamente.

Por lo que, el Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaria del Medio Ambiente ha desarrollado el “Plan Verde de la Ciudad de México”, el cual está integrado por varias estrategias para el desarrollo sustentable.

La instalación de sistemas de naturación, es una de las estrategias ambientales del Plan Verde. El cual es una ruta a mediano plazo (15 años) para llevar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad sin comprometer su patrimonio natural. Logrando que sus habitantes continúen

<sup>12</sup> Diseñado por la Firma Sordo Madaleno y Asociados, S. C.

disfrutando de espacios adecuados. El Plan Verde es un “instrumento vivo”, ya que la ciudadanía participa en la evaluación y en el enriquecimiento de manera constante, así como los diferentes sectores que en él intervienen.

### 2.3. Edificios Públicos

El gobierno de la ciudad de México toma el liderazgo para desarrollar políticas públicas que impulsen el desarrollo de dicha tecnología.

En 2008 publicó la primera norma técnica en el país para la naturación de azoteas, Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007.

En los últimos dos años el Gobierno del DF ha creado más de 8700 metros cuadrados en inmuebles de gobierno de la ciudad.

Para el diseño y la utilización de esta tecnología se requiere de la intervención de diferentes aspectos, tales como: los bioclimáticos, conocimiento de las plantas, las propiedades de las membranas, las características de los impermeabilizantes, la edafología de los sustratos y las propiedades térmicas de estos sistemas de naturación.

Actualmente se investiga en la Facultad de Arquitectura, Universidad de Chapingo y otras instituciones, los aspectos térmicos del sustrato y la resistencia de algunas especies de plantas utilizadas en los sistemas de naturación.

#### Ejemplos de edificios públicos con sistema de naturación (Fuente: Plan Verde)

1994 UACH instala 4 techos de 75 m<sup>2</sup> c/u para la selección de vegetación.

1999 la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) autorizan prueba piloto en escuelas públicas.

2003 la delegación Xochimilco es la primera demarcación en incluir la naturación de azoteas en escuelas públicas de la zona urbana, como un programa de gobierno dentro de la Dirección General de Medio Ambiente.

2004 El banco HSBC implementa la naturación de azoteas (LEED).

2005 El Grupo San Carlos<sup>13</sup> incluye la naturación en su desarrollo ecológico (Zapopan, Jalisco).

<sup>13</sup> Fundada en 1965, empresa Tapatía, con capital local y orgullosamente Familiar. Líder en el sector vivienda y especializada en la urbanización y edificación de todos los niveles socioeconómicos.

2006 El Museo del Acero en el Parque Fundidora Monterrey, con una extensión de 1,700 m<sup>2</sup> distribuidos en las dos azoteas, una de tipo Intensivo y la otra de tipo Extensivo. Utilizando pastos nativos para transmitir la sensación del sitio en su estado natural o silvestre.

2007 La SMA en conjunto con el STC (METRO) y la UACH instalan los primeros 2,000 m<sup>2</sup> de naturación de azoteas, como una línea de trabajo estratégica dentro del Plan Verde y la Agenda Ambiental del GDF.

Escuela Preparatoria Coyoacán. "Ricardo Flores Magón". Extensión de 2,225 m<sup>2</sup>, 155,596 crasuláceas de género cedum. Ver Figura 37.

Edificio del Metro Insurgentes. Delegación Cuauhtémoc. Una extensión de 1,037 m<sup>2</sup> y 93,330 crasuláceas del género cedum. Ver Figura 38.

Hospital de Especialidades "Dr. Belisario Domínguez", Iztapalapa. Con una extensión de 975 m<sup>2</sup>, conformada por 67,970 crasuláceas del género cedum. Ver Figura 40.

Museo de Historia Natural. "2da Sección de Chapultepec". Extensión de 60 m<sup>2</sup>, 4,183 crasuláceas de género cedum. Ver Figura 39.

Escuela Preparatoria Iztacalco. "Felipe Carrillo Puerto". Extensión de 1 500 metros cuadrados, 105 000 crasuláceas de género cedum. Ver Figura 42.

Secundaria Técnica No 14. "Cinco de Mayo". Delegación Benito Juárez. Extensión de 220 metros cuadrados, 21 100 crasuláceas de género cedum. Ver Figura 41.



Figura 36 Escuela Preparatoria "Ricardo Flores Magón"



Figura 37 Glorieta del metro Insurgentes

Fuente:  
<http://www.eluniversaldf.mx/fotos/insurgentes-verde.jpg>



Figura 39 Hospital "Dr. Belisario Domínguez"



Figura 38 Museo de Historia Natural en la 2a. Sección del Bosque de Chapultepec



Figura 40 Escuela Secundaria  
"Cinco de Mayo"



Figura 41 Escuela Preparatoria  
"Felipe Carrillo Puerto"

## 2.4. Iniciativa Privada

Actualmente en México, se han creado asociaciones para la naturación de azoteas, tales como AMENA "Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas", la Fundación Hombre Naturaleza y Gobiernos Estatales.

La Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas (**AMENA**) es una asociación civil creada en 2005 con el objetivo de investigar, informar y capacitar sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que representa la Naturación de azoteas. AMENA colabora estrechamente con instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en la investigación de diferentes aspectos de la Naturación de Azoteas en nuestro país.

La audiencia incluye diseñadores y constructores profesionales, arquitectos, desarrolladores, consultores ambientales, personal gubernamental, estudiantes y propietarios de edificaciones interesados en el diseño sustentable y la arquitectura ecológica.

**Ejemplos.** En las siguientes figuras se aprecian azoteas verdes instaladas en edificaciones del sector privado. (Figuras 43 a 46).



Figura 43 El Acantilado, Zapopan Jalisco.  
Fuente: AMENA



Figura 42 Corporativo HSBC, Paseo de la  
Reforma, colonia Cuauhtémoc.  
Fuente: AMENA



Figura 45 Plaza Central, colonia Central de Abasto.  
Fuente: AMENA



Figura 44 Grupo Wall Mart, Superama Polanco.  
Fuente: AMENA

## 2.5. Soluciones existentes en el mercado

Existen muchos instaladores-vendedores en el mercado que se dedican a la colocación de azoteas verdes, todos ellos ofrecen los siguientes beneficios:

- *Hacen de tu espacio un lugar térmico, transformando el calor del verano en frescura dentro de tu hogar, detectándose una diferencia de hasta 10°C en la temperatura interior del inmueble contra la exterior.*
- *Purifican el aire que respiras. Las plantas atrapan los metales pesados y lo transforman en oxígeno con lo cual disminuyen en alto grado las enfermedades virales.*
- *Generan aislamiento acústico absorbiendo el ruido de las ciudades y procurando silencio al interior de las viviendas.*
- *Constituyen un espacio de recreación. Pueden disfrutar de ellos quienes tienen acceso a estas alfombras o quien la contempla desde lejos.*
- *Mejoran tu estado de ánimo. ¿Sabías que estar en contacto 20 minutos al día con las plantas y el sol disminuye en gran escala las depresiones y el estrés?*
- *Ayudan enormemente a reducir el calentamiento global, por el hecho de sustituir concreto por áreas verdes.*
- *¿Sabías que hacen por ti 90m<sup>2</sup> de áreas verdes?*
- *En un año logran capturar 15kg de metales pesados suspendidos en el aire, incluyendo el plomo.*
- *Producen el oxígeno requerido para mantener a 30 personas durante un año.*
- *Generan aproximadamente 30 litros de agua en forma de vapor que pueden transformarse en lluvia durante días calurosos.*

- *Propician la disminución de -isla calor- esto significa que debido a los excesos de construcción en las ciudades la radiación solar incrementa la temperatura del suelo, pero con los techos y paredes verdes el calor es absorbido por la plantas.*
- *Ayudan a que el ciclo del agua no se interrumpa, al impedir que NO toda el agua de las lluvias se vaya al drenaje y se contamine.*
- *Ayudan también a evitar la sobresaturación del drenaje, sobretodo en temporada de lluvias.*

Cabe señalar, que para los instaladores lo importante es vender los sistemas de naturación, por lo que lo hacen a través de promocionar únicamente los beneficios que estos ofrecen, pero bien vale la pena decir que ninguno de los proveedores garantiza la preservación de la vegetación, y con ello el éxito de la azotea, ni hacen énfasis en lo que puede llegar a costar el mantenimiento si no se hace una selección adecuada de las especies de plantas por ejemplo, ya que no toman en cuenta el conocimiento del clima para su selección.



## 2.6. Confort Térmico

Como pudimos observar en la revisión de la utilización de la vegetación en las azoteas, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, podemos concluir que los sistemas de naturación se utilizan debido a los beneficios que pueden aportar (principalmente en las zonas densamente

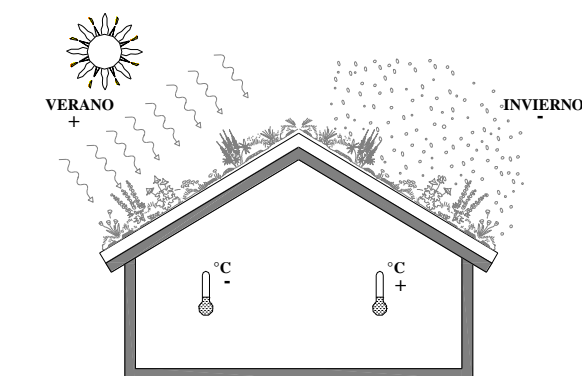


Figura 46 Sistemas de naturación como estrategias de confort térmico. EP

urbanizadas), tales como: producción de oxígeno, consumo de dióxido de carbono, retención de contaminantes y limpieza del aire, evitar el efecto isla de calor, a nivel ambiental. Pero en lo que a ahorro de energía se refiere, y que es lo que nos ocupa en este apartado, los sistemas de naturación tienen la cualidad de ser aislantes térmicos y de funcionar como sistemas de enfriamiento.<sup>14</sup> Ver Figura 46.

En este sentido, se han hecho estudios del potencial bioclimático, entre otros, de la vegetación en cubiertas como dispositivos de control térmico obteniendo excelentes resultados, ejemplo de ello, es el estudio comparativo entre tres cubiertas, realizado por el profesor-investigador Israel Tovar de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco y que vale la pena dar a conocer, a continuación, se presentan los resultados del estudio:<sup>15</sup>

*Caso de estudio: implementación de la especie *Hylocereus undatus* en azotea.*

*Localización: Azcapotzalco, Ciudad de México*

*Latitud: 19° 29'*

*Longitud: 99° 11'*

*Altitud: 2,252 msnm*

*Día 21 de abril*

*Hora: 14:00*

*Radiación horaria 569 W/m<sup>2</sup> (ángulo horario -30°)*

*Radiación máxima total (12 hrs): 665.8W/m<sup>2</sup>*

*Declinación (d) de 11.58°*

*Altura Solar: (h) de 60.1°*

<sup>14</sup> Artículos de la Dra. Alma Rosa Ortega Mendoza

- Diseño de modelo paramétrico para evaluar el desempeño de una cubierta verde
- Esbozo comparativo de modelos para el diseño térmico de cubiertas vegetales
- Comparación del desempeño térmico de una techumbre tradicional vs. Una techumbre con cubierta verde

<sup>15</sup> Datos del Artículo del Mtro. E. Israel Tovar Jiménez

- Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico.

Acimut (z) de 79.22°

Velocidad del viento: media 1.2 m/s<sup>2</sup>

Temperatura media mensual de 17.7°C

Temperatura horaria de 23°C

Temperatura neutra mensual de 23,1°C

Límite superior de confort: 25.6°C

Límite inferior de confort: 20.6°C

Características de la especie seleccionada:

- bajo consumo hídrico
- nativa o con adaptación comprobada a las condiciones climáticas de la ZMVM.
- rápido crecimiento para generar la cobertura y acortar los tiempos de trabajo térmico del sistema.
- apta para generar capas vegetales densas

### Modelo 1

Material común, que tiene losa de concreto.

### Modelo 2

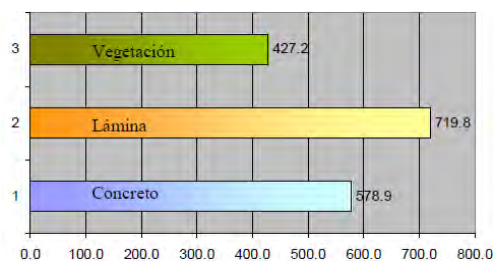
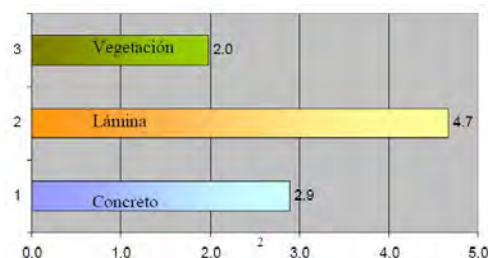
Cubierta de lámina simple.

### Modelo 3

Cubierta de lámina simple y cobertura vegetal.

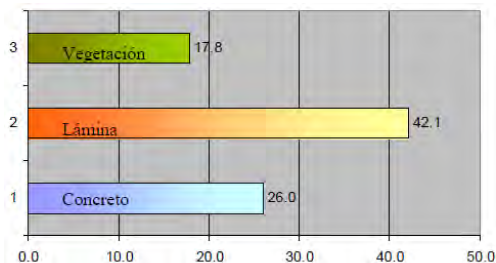
### Resultados:

1. El Coeficiente de Transmisión “U” (en W/m<sup>2</sup>) de la cubierta de lámina con vegetación es 31% menor que el de la losa de concreto y 57.4% menor al de la lámina simple



2. La ganancia solar Qs (en Watts) de la cubierta de lámina con vegetación es 26.2% menor que el de la losa de concreto y 40.7% menor al de la lámina simple.

3. La ganancia por conductividad Qc (en Watts) de la cubierta de lámina con vegetación es 32% menor que el de la losa de concreto y 58% menor al de la lámina simple.



## 2.7. Organización de los componentes del MCM para su investigación

Este apartado se utiliza para introducir al esquema del modelo conceptual metodológico, agrupado en la forma que se llevará a cabo la investigación de cada uno de los elementos que componen el sistema de naturación para su mejor entendimiento y la importancia de tomar en cuenta cada uno.

Los siguientes capítulos (3 al 5), presentan los primeros resultados de un análisis sobre el estado del arte en libros y la categorización de una serie de artículos publicados sobre el tema, haciendo uso del sistema de información ISI Web para consulta de revistas indizadas en la base de datos de la web of science en un periodo de ocho años (2006-2013), así como pláticas con el biólogo Gilberto Navas<sup>16</sup> de la Universidad de Chapingo, bióloga y arquitecta, Rocío López<sup>17</sup> de la Facultad de Arquitectura del Paisaje y el biólogo Jerónimo Reyes<sup>18</sup> del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México. A partir de esta primera aproximación documental es que se elabora el modelo que más adelante se describe.

Se encontró que el diseño de espacios naturados son un medio para “enverdecer” las ciudades y una eco-tecnología de ahorro de energía. El objetivo primario es identificar los factores que intervienen en el desarrollo para la óptima instalación y mantenimiento de estos espacios. Posteriormente se propone un modelo conceptual integrado por cuatro componentes (socioeconómico, normativo, ambiental y tecnológico), que deben tomarse en cuenta para el diseño de espacios naturados. Cada uno de estos componentes es lo que se explica en el presente trabajo.

El tema de naturación en nuestro país se convirtió en un aspecto importante en la agenda verde de las políticas ambientales de la Ciudad de México durante el periodo de Gobierno 2006-2012, por lo que es significativo establecer procedimientos y estándares para los usuarios interesados

<sup>16</sup> PhD, investigador de la Universidad Autónoma Chapingo, miembro de la *Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas* (AMENA), asesor de varias empresas y el gobierno local de la Ciudad de México.

Doctor Agrícola de la Universidad Humboldt de Berlín.

<sup>17</sup> Isabel Rocío López de Juambelz. Bióloga, maestra y doctora en arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, obtuvo la medalla Alfonso Caso por sus estudios de maestría y mención honorífica por sus tesis de maestría y de doctorado; cuenta con un diplomado en arquitectura de paisaje realizado en la Universidad Iberoamericana.

<sup>18</sup> Biól. Panuncio Jerónimo Reyes Santiago. Biólogo por la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Responsable de la colección de crasuláceas y del programa de cultivo y propagación de cactáceas y suculentas en apoyo a la conservación de especies bajo alguna categoría de riesgo en el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Es responsable del programa de azoteas verdes, brinda asesorías y capacitación que proporciona para el establecimiento de azoteas verdes, vinculando a otras Instituciones. Participa en cursos, talleres conferencias y otras actividades.

en contar con estas tecnologías, tener un claro conocimiento de cómo se lleva a cabo la ejecución de los sistemas de naturación. Por lo que en los siguientes capítulos (3 al 5), se pretende mostrar los aspectos que intervienen en la planeación, diseño, instalación, operación y mantenimiento del mismo.

En el presente estudio, se pretende, además, aportar con una forma de enfocar el desarrollo del proceso de diseño, ejecución, implementación y operación de espacios naturados, siendo por supuesto, susceptible a complementaciones en algunos campos, lo que dará pie a continuar la investigación en algunas líneas.

En la figura 47, se muestra la organización para la investigación y demostración de la importancia de cada uno de los elementos que se deben tomar en cuenta para óptimos resultados en el diseño, desarrollo, implementación y mantenimiento de espacios naturados.

El MCM, se organizó en cuatro componentes que a su vez, cada uno de estos componentes se subdivide en otros elementos. El desarrollo de cada uno de los componentes tiene la finalidad de aportar el conocimiento necesario y, establecer la importancia de cada uno de estos para tomarse en cuenta en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de un sistema naturado de manera óptima.

Como se aprecia en la figura 47, El componente Socioeconómico, está integrado por: la aceptación, la función, los incentivos y los costos. El componente normativo, se refiere directamente a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal. Publicada el 24 de diciembre de 2008, por la Secretaría del Medio Ambiente, a través de la Gaceta Oficial del Distrito Federal, capítulo 3.

El componente ambiental, está integrado por: el clima, factores climáticos y elementos de este. Siendo estos los que van a determinar el crecimiento y desarrollo de la vegetación, capítulo 4. Para el Componente tecnológico, se deben tomar en cuenta la estructura de la edificación, el sustrato, la vegetación, el sistema de capas (Impermeabilizante, Drenante y Filtrante) y el mantenimiento (Riego, poda y control de plagas y enfermedades). Se le denomina tecnológico, debido a que se llevará a cabo mediante el “conjunto de saberes, habilidades, destrezas y medios necesarios para llegar a un fin predeterminado mediante el uso de objetos artificiales (artefactos) y/o la organización de tareas”, capítulo 5.

| Sistema de naturación | Componente  | Elemento  |  |
|-----------------------|---|---|--|
|                       | <b>Socioeconómico y Normativo</b><br><br><b>Capítulo 3.</b> | 3.4 Aceptación  |  |
|                       |   | 3.5 Función   |  |
|                       |   | 3.6 Incentivos  | Fiscales   |
|                       |   |   | Certificación  |
|                       |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia</li> <li>• Excelencia</li> </ul> |
|                       |   | 3.7 Costo   |  |
|                       |   | 3.8 Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 |  |
|                       | <b>Ambiental</b><br><br><b>Capítulo 4.</b>                  | 4.1 Clima   | 4.1.1 Clasificación climatológica  |
|                       |   |   | 4.1.2 Importancia de la vegetación   |
|                       |   |   | 4.1.3 Relación clima-vegetación  |
|                       |   | 4.2 Factores Climáticos   | Altitud  |
|                       |   |   | Latitud  |
|                       |   |   | Relieve  |
|                       |   | 4.3 Elementos Climáticos  | Temperatura  |
|                       |   |   | Humedad  |
|                       |   |   | Viento   |
|                       |   |   | Precipitación  |
|                       |   |   | Radiación  |
|                       | <b>Tecnológico</b><br><br><b>Capítulo 5.</b>                | 5.2 Estructura  | Edificios existentes   |
|                       |   |   | Edificios nuevos   |
|                       |   | 5.4 Sustrato  |  |
|                       |   | 5.7 Vegetación  |  |
|                       |   | 5.10 Sistema  | 5.10.1 Impermeabilización  |
|                       |   |   | 5.10.2 Capa drenante   |
|                       |   |   | 5.10.3 Capa filtrante  |
|                       |   |   | 5.10.4 Capas auxiliares  |
|                       |   | 5.11 Mantenimiento  | 5.11.1 Riego   |
|                       |   |   | 5.11.2 Poda  |
|                       |   |   | 5.11.3 Control de plagas y enfermedades  |

Figura 47 Esquema de los componentes del MCM organizados para su investigación. (EP)

## Capítulo 3

---

### 3. Componente Socioeconómico y Componente Normativo

El componente Socioeconómico está integrado por: la aceptación, la función, los incentivos y los costos. Ver Figura 48.

La aceptación es en el sentido de que dada la naturaleza del sistema y el poco tiempo relativamente en el mercado, hace que las personas estén escépticas en cuanto a los beneficios que pueden proporcionar y existen dudas de la instalación y el mantenimiento.

La función, es básicamente el motivo por el cual se está instalando, que puede ser desde estético hasta terapéutico, ya que este determina el diseño.

Los incentivos son las gratificaciones que se otorgan a quienes deciden instalar el sistema, en varios países a nivel mundial se están dando. Los costos de la instalación del sistema, es valor monetario que debe pagarse por un sistema naturado.

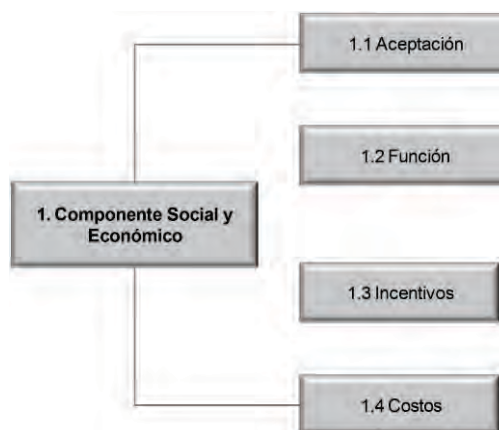


Figura 48 Elementos del Componente Socioeconómico. (EP)

### 3.1. Tendencia a la urbanización

En los últimos cincuenta años la población mundial se ha duplicado y en la actualidad el número de habitantes oscila alrededor de los 7.000 millones. Siendo este crecimiento motivo de preocupación mundial. Sin embargo, el crecimiento no es homogéneo, hay periodos de disminución y/o de aumento, a su vez, ha variado de unas regiones a otras.

Mientras que en México, la población se ha incrementado en un treinta y seis por ciento.<sup>19</sup> La tasa de población urbana supera su crecimiento al de la población rural hasta en tres veces. Las Naciones Unidas en su “Informe sobre el Desarrollo Urbano” de 1996, afirmó que en el año 2005 la mitad de la población mundial estaría viviendo en las ciudades.

La urbanización ofrece aspectos positivos, tales como: “*mayores posibilidades de realización profesional, mayor acceso a la cultura, mejores servicios sanitarios, más independencia y mayor transformación social*”. (Briz, 2004, p. 14)

<sup>19</sup> Datos poblacionales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Pero la urbanización de las ciudades también ofrece aspectos negativos si hacemos una comparación con las zonas rurales, entre los que podemos mencionar son: *la contaminación, mayor agresividad y delincuencia, más enfermedades debidas al estrés, desarreglos hormonales y mayor aislamiento*. (Briz, 2004, p. 14)

Aún así, la población de las zonas rurales emigra a las ciudades, convirtiéndolas en el principal hábitat de la humanidad. Siendo este, uno de los motivos por el cual las zonas urbanas deben ser ecológicas y socioeconómicamente sostenibles, las colonias, sectores o barrios según sea el caso, deben disponer de infraestructura cultural y social, dando oportunidad a las comunidades de vecinos de ser los protagonistas del medio que les rodea. Además de una economía de escala y el ahorro de recursos económicos. Pudiendo tomar como ejemplo el modelo de co-vivienda, originario de Dinamarca, el cual propone asociar viviendas individuales con servicios comunes, tales como: guarderías, lavanderías, salones de usos múltiples y terrazas ecológicas, el cual ya ha sido adaptado a otros lugares. (Urbano-López, 2013)

Se puede decir en resumen, que la urbanización es un fenómeno complicado que tiene efectos de orden económico, social, político y sanitario. La ciudad representa el punto de concentración económica, lo que lleva a una mecánica social, de actividades de tipo cultural y deportivo entre otras. Resultado de ello es su superioridad política. No es un secreto que en la democracia, la toma de decisiones lleva a partidos y políticos a esforzarse en los problemas de la urbe olvidando el campo. Los recursos económicos se estipulan en función de las demandas de la urbanización. En un sistema democrático tiene lógica dar respuesta a los ciudadanos, pero no se debe olvidar que la conservación de la ciudad a largo plazo, está condicionada a su integración en su propio entorno. (Briz, 2004)

### **3.2. Acciones a llevar a cabo en Ciudades Ecológicas Sostenibles**

En la actualidad ha surgido la interrogante de, qué es una ciudad verde o ecológica y de qué forma podemos identificarla. Las ciudades se enfrentan a varias contradicciones, por un lado, se presenta el consumismo como sinónimo de bienestar contra el ahorro de energía. *Por lo que se deben realizar acuerdos para configurar lo que podemos denominar una ciudad ecológica compatible con su entorno, ambos sostenibles a largo plazo*. (Briz, 2004, p. 16)



La Conferencia Europea de “Ciudades Sostenibles”, celebrada en Alberg Dinamarca, en 1994 aprobó una declaración conteniendo el papel de las ciudades, así como las acciones a desarrollar para alcanzar su sostenibilidad.

Plan de acciones locales para la sustentabilidad. La preparación de un plan local incluye las siguientes etapas:

- Análisis de todos los programas que se vienen desarrollando, su coordinación y viabilidad financiera.
- Identificación sistemática, mediante consulta abierta a los ciudadanos, de los problemas existentes y sus causas.
- Establecer un orden de prioridad de las acciones a realizar para resolver los problemas.
- Crear una visión de conjunto de una “ciudad verde” mediante la participación activa de todos los miembros de la comunidad.
- Fijar un plan de acción a largo plazo, con unos objetivos concretos mensurables, que lleve a la ciudad ecológica sostenible.
- Implementación del plan de acción, con un esquema de trabajo que distribuya responsabilidades entre los participantes.
- Arbitrar un mecanismo de seguimiento y elaboración de informes que indiquen en todo momento el grado de incumplimiento del programa.

### 3.3. Promover parques y jardines

Se han de impulsar los parques y jardines, árboles en las aceras, enverdecimiento de fachadas y cubiertas. La naturaleza trata de sobrevivir a la jungla de cemento y acero. Es común ver en diversos lugares “malas hierbas” que crecen en azoteas, en las aceras o incluso en las grietas de los muros.

La vegetación en áreas urbanas y la naturación de edificios, ha permitido mejorar el nivel de vida de muchos ciudadanos. Ya que no es un lujo, sino una necesidad. Logrando reducir las emisiones contaminantes al bajar con la vegetación la contaminación. Se ha demostrado que los arboles absorben y filtran el polvo de las ciudades. *Se estima que un abeto de 40 cm. de diámetro puede eliminar 19.5 Kg. de azufre al año y que un solo árbol puede transpirar hasta 380 litros de agua diarios, ocasionando un ambiente más fresco en su entorno.* (Briz, 2004, p. 17).

Mientras que las cubiertas naturadas retienen las partículas de polvo y metales suspendidos, gracias a la combinación planta-sustrato.

Crear cinturones verdes, intercomunicados con pasillos ecológicos y un núcleo verde en el centro, esto como parte de los objetivos de la naturación a nivel urbano. La realización de estas estrategias más allá de ser un problema de recursos económicos, tiene que ver con la participación y cooperación ciudadana, ya que las personas deben de mentalizarse para la realización y operación de los mismos. Las cubiertas ecológicas y la naturación extensiva son accesibles para todas las clases sociales. (Briz, 2004)

Muestra de ello es la recuperación del distrito Kreuzber, Berlín, cubriendo de vegetación a fachadas y techados de veinticinco edificios viejos. Ver Figura 49.



Figura 49 Barrio de Kreuzberg, Berlín. Antes y después de su recuperación.

A pesar de los beneficios que se pueden obtener con la utilización de la vegetación, hay cierto escepticismo en implementar un espacio naturado en viviendas, ejemplo de ello, es que la mayoría de las azoteas verdes están implementadas en edificios gubernamentales o en grandes corporativos, es por ello que se debe tener muy claro el motivo por el cual se puede instalar un sistema.

Aún así, se da de manera acelerada la migración a las ciudades, lo que hace inevitable el desequilibrio no solo con el ambiente y por ende los recursos de este, como son: agua, energía y alimentos, también con problemas de los residuos y su manejo, de salud, de vivienda y sociales. (Urbano-López, 2013, p. 226)

### 3.4. Aceptación

La aceptación es en el sentido de que dada la naturaleza del sistema y el poco tiempo en el mercado, hace que las personas estén escépticas en cuanto a los beneficios que estos sistemas pueden proporcionar, así como dudas para su instalación y mantenimiento.

Sin embargo es notorio que a nivel mundial la aceptación se ha visto favorecida por los beneficios obtenidos, especialmente los ambientales, como la disminución del efecto isla de calor, la mitigación, al menos en parte de la pérdida del paisaje natural, y otros, que con el tiempo han determinado una amplia aceptación por parte de la población respecto a las azoteas vegetadas.

Queda claro, entonces, que la aceptación es una respuesta social, siendo uno de los componentes que conforman el sistema de naturación y que juega un papel igual de importante que los otros tres componentes (ambiental, normativo y tecnológico). En la medida que los sistemas de naturación sean aceptados y se vayan integrando a la sociedad, estos podrán ir implementándose a gran escala como sucede en Europa y Estados Unidos. Y de igual forma, se empezará a gozar de los beneficios que los sistemas de naturación ofrecen y que las ciudades europeas ya disfrutaban.

### 3.5. Función

La función, es básicamente el motivo por el cual se está instalando el sistema de naturación, que puede ser desde simple estética hasta por motivos terapéuticos que mejoran la salud física y emocional de los enfermos, razón por la cual, la función determina el diseño de la azotea. Además de definir el diseño, la función da la pauta al tipo de mantenimiento que se le va a dar a la azotea y al sistema de naturación en sí.

Aunado a las funciones estéticas y terapéuticas de los sistemas de naturación, se puede aumentar a estos las siguientes:

- Ambiental
- Térmico
- Acústico
- Recreativos
- Aromaterapia
- Producción de alimentos (hortalizas)

- Relajación/sanación (hospitales)
- Espacios sociópetos (para integrar comunidades)

Educativos/didácticos (aprender sobre especies, cultivos etc.)<sup>20</sup>

Y por último, dependiendo del uso que se le dará a la azotea, se pueden clasificar en tres tipos:

**Intensivo**, es el que convencionalmente se ha usado como un jardín de azotea, aplicando los principios del diseño paisajístico, pudiéndose realizar una variedad de actividades recreativas-pasivas en el espacio, haciéndolo habitable.

**Semi-intensivo** es básicamente la combinación entre un jardín de azotea y la naturación de una cubierta, con algunos usos en menor medida.

**Extensivo**, en este caso se refiere a muy baja actividad de uso habitable, incluso nulo, con tratamiento y apariencia natural gracias a la vegetación.

### 3.6. Incentivos

Los incentivos son las gratificaciones que se otorgan a quienes deciden instalar el sistema, en varios países a nivel mundial se están dando. En México, solo en el Distrito Federal hay una propuesta fiscal en el predial de hasta un 25%.

En varios países a nivel mundial se ofrece algún tipo de incentivo para la implementación del sistema. Cerca del 43% de las ciudades en Alemania ofrecen algún tipo de incentivo para la implementación del sistema.

Incluso en Tokio se estableció en el año 2001 como obligación, que todos los edificios nuevos por cada 1000 metros cuadrados de suelo, debían naturar el 20% de sus azoteas.

La Jefatura de Gobierno del Distrito Federal publicó el 22 de diciembre de 2010 en la Gaceta Oficial, la reforma al artículo 296 y la adición del 296 bis del Código Fiscal. Los cuales se citan a continuación:

***“Artículo 296.-** Los predios que sean ejidos o constituyan bienes comunales que sean explotados totalmente para fines agropecuarios, tendrán derecho a una reducción equivalente al 50% respecto del pago de impuesto predial, para lo cual deberán acreditar*

<sup>20</sup> Información, Dr. Manuel López Portillo

*que el predio de que se trate sea un ejido explotado totalmente para fines agropecuarios mediante la constancia del Registro Agrario Nacional correspondiente.*

*Asimismo, las personas físicas o morales que acrediten ser propietarias de edificios respecto de los cuales demuestren la aplicación de sistemas sustentables ante la Secretaría del Medio Ambiente, gozaran en un periodo de un año de la reducción del 10% del impuesto predial, correspondiente a dicho inmueble, previa obtención de constancia emitida por la Secretaría antes mencionada.*

**Artículo 296 Bis.-** *Los propietarios de inmuebles destinados a casa habitación que se encuentren en cualquiera de los siguientes supuestos, tendrán derecho a la reducción del Impuesto Predial que se especifica en cada caso:*

- I) De 25% a los que cuenten en su inmueble con árboles adultos y vivos o con áreas verdes no arboladas en su superficie, siempre y cuando el arbolado o las áreas verdes ocupen cuando menos la tercera parte de la superficie de los predios. En el caso de los arboles adultos y vivos deberán estar unidos a la tierra, y no a las plantaciones en macetas, macetones u otros recipientes similares, y recibir el mantenimiento necesario de conformidad con la normatividad ambiental.*
- II) De 10% a los que realicen la naturación del techo de su casa habitación, conforme lo establece la Norma Ambiental 013 emitida por la Secretaría del Medio Ambiente”.<sup>21</sup>*

*Para la obtención de las reducciones a las que se refiere el artículo, los contribuyentes deberán presentar la respectiva constancia expedida por la Secretaría del Medio Ambiente con la que acrediten que su inmueble cuenta con dicha constancia de preservación ambiental señaladas en los incisos I y II. Los requisitos se encuentran en la página de la Secretaría del Medio Ambiente.*

Además de los incentivos fiscales, los hay de certificación de Excelencia y Eficiencia, en los que además se obtienen beneficios ambientales.

La Secretaría del Medio Ambiente, publicó a través de la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 25 de noviembre de 2008, “El Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)”, *instrumento de planeación de política ambiental dirigido a transformar y adaptar las edificaciones actuales y futuras bajo esquemas basados en criterios de sustentabilidad y*

<sup>21</sup> Código publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el martes 29 de diciembre de 2009. (p.248)

*eficiencia ambiental; y tiene como finalidad contribuir en la conservación y preservación de los recursos naturales en beneficio social y mejorar la calidad de vida de los habitantes del Distrito Federal.*

Tiene como objetivo promover y fomentar la disminución de emisiones contaminantes, así como el uso eficiente de los recursos naturales tanto en el diseño como en la operación de edificios en el Distrito Federal, basado en criterios de sustentabilidad a través de un proceso de regulación voluntaria, obteniendo también incentivos económicos.

Del proceso de certificación se derivan beneficios distribuidos en tres niveles distintos, Cumplimiento, Eficiencia y Excelencia Ambiental, y se enlistan a continuación: (Del Programa de Certificación de edificaciones sustentables de la Secretaría del Medio Ambiente).

- *Extensión del ciclo de vida del edificio*
- *Plusvalía de la propiedad*
- *Retorno de la Inversión*
- *Reducción en el consumo y pago de luz, agua y otros, por el uso eficiente de los recursos*
- *Incremento de la productividad personal*
- *Mejoramiento de las condiciones de salud y bienestar ocupacional*
- *Cumplimiento Normativo*
- *Reconocimiento nacional e internacional como miembro del grupo de Edificaciones Sustentables*

Aunado a lo anterior, una vez que se cuenta con los certificados de Eficiencia y/o Excelencia, se puede obtener:

| <b>Certificado</b> | <b>Beneficio</b>  |
|--------------------|---|
| <b>Eficiencia</b>  | Reducción en el pago de impuesto predial                        |
|                    | Simplificación administrativa                                   |
|                    | Ahorro económico en agua y energía                              |
|                    | Posibles financiamientos a tasas preferenciales                 |
|                    | Posibles reducciones en primas de seguros                       |
| <b>Excelencia</b>  | Reducción en el pago de impuesto predial                        |
|                    | Simplificación administrativa                                   |
|                    | Ahorro económico en agua y energía                              |
|                    | Financiamiento para programas de ahorro de energía (en gestión) |
|                    | Cuotas preferenciales en los derechos de agua (en gestión)      |
|                    | Posibles financiamientos a tasas preferenciales                 |

### 3.7. Costo

Los costos de la instalación del sistema son elevados, varios son los factores que se presentan para elevarlo. Uno de ellos es debido a un “*problema de escala. Conforme ésta aumente y exista una mayor conciencia sobre el cuidado del medio ambiente los precios se reducirán*”, afirma Navas Gómez, Biólogo de la Universidad de Chapingo.

Otro factor, es la tecnología aplicada, ya que, al ser un sistema inducido, se debe crear el sustento de la vegetación para que esta se dé en las mejores condiciones, así como la impermeabilización, el drenado y mantenimiento. Dicho con otras palabras, a pesar de que el sistema de naturación es un elemento natural, se vuelve una tecnología al crear los componentes que lo van a conformar para que funcione de manera natural. No se debe dejar de lado que la plusvalía del inmueble aumenta hasta en un quince por ciento con el sistema instalado y en funcionamiento. El costo de la instalación de un sistema de naturación, va de los mil doscientos pesos hasta los tres mil quinientos pesos por metro cuadrado.

Al respecto, no podemos decir si es elevado o no el precio de la instalación, no es la finalidad en el presente trabajo evaluar ese aspecto, pero si se recomienda si es que se requiere una evaluación al respecto, realizar un análisis de costo beneficio y poder determinar su “valor” o su “costo”. Además, los costos dependen del tipo de sistema de naturación, pero de manera general a continuación se presentan algunos costos en el mercado.

*El costo de instalación de una Azotea depende de muchas variables, inclusive el costo para dos azoteas de la misma dimensión puede ser muy diferente. Sin embargo, podemos decir que el precio oscila en un rango de \$1,200.00 pesos y \$3,500.00 por m<sup>2</sup>.<sup>22</sup> (63.32 a 184.69 UDS).*

*El costo de una azotea extensiva, que necesita cuidados básicos y es adornada con plantas o flores de la región, cuesta alrededor de 1,200 a 1,350 pesos por m<sup>2</sup> (63.32 a 184.69 USD). La intensiva, que incluye vegetación más pesada y mayor cantidad de especies vegetales, va de los 1,800 a 5,000 pesos por m<sup>2</sup> (94.98 a 263.85 USD). Y las*

<sup>22</sup> <http://azoteasverdes.com.mx/wp/precios/>

*semi-intensivas, que pueden combinar diseños, oscilan entre los 1,400 y 1,750 pesos por m<sup>2</sup> (73.87 a 92.34 USD).<sup>23</sup>*

Estos costos son únicamente por la instalación del sistema naturado, a estos precios se les debe agregar los del mantenimiento, en su caso y los de mobiliario que se desee agregar a la azotea.

### 3.8. Concientización

La importancia de tomar en cuenta el aspecto social, radica en que los espacios naturados deben ser incluyentes, la sociedad se debe apropiarse de ellos y en esa medida se concientizará para ser participe desde el diseño, la ejecución y el mantenimiento de estos. Si el beneficio de instalar un sistema de naturación a nivel social radica en que es una estrategia que se deriva de un Programa Social para lograr ciudades sustentables, es la sociedad entonces, quien debe participar. Eso es un buen inicio, pero además de una mala selección de la vegetación, el fracaso de instalar vegetación radica en que no se toma en cuenta a las personas desde la concepción de los espacios naturados, no se les informa en qué consiste y no se les hace participe en el mantenimiento de estos.

De manera general y basándonos en los principios del manual “Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid”, ya que este manual se basa en la filosofía de incorporar, a todos los ámbitos de la gestión de las zonas verdes, podemos decir que los principios de sostenibilidad aplicados a la jardinería son:

- Reducir y optimizar el consumo de agua
- Reducir y optimizar el consumo de energía
- Llevar a cabo una gestión sostenible de los residuos para minimizar su producción
- Optimizar el consumo de materiales y recursos naturales cuyo impacto ambiental sea el menor posible
- Proteger y fomentar la biodiversidad
- Fomentar la participación ciudadana y garantizar un uso público sostenible de la zona verde

El de fomentar la participación ciudadana es el que nos ocupa en el presente apartado, y al respecto, tenemos que:

---

<sup>23</sup> <http://eleconomista.com.mx/finanzas-personales/2013/08/08/aumente-costos-su-vivienda-azoteas-verdes>



*“La importante función social de las zonas verdes hace necesario garantizar un uso público sostenible de las mismas, basado en procesos de información, participación y sensibilización de la población, que reviertan en una mejora de su calidad de vida.*

*Con este fin se proponen un conjunto de criterios destinados a potenciar la participación ciudadana desde la fase de diseño y a facilitar un uso público más sostenible de las zonas verdes”.*<sup>24</sup>

Así que, para que una azotea verde funcione, es muy importante la concientización, por lo que, como conclusión al aspecto socioeconómico, se sugiere seguir los siguientes pasos para la elaboración de la Campaña:

1. Temática
  - Introducción al tema.
2. Población beneficiada
  - Población a la que se dirige la campaña
3. Objetivos de la campaña
  - ¿Qué se quiere lograr? ¿En qué plazo?
4. Medios y estrategias
5. Campaña
  - Ejecución de lo planificado
6. Evaluación de la campaña
  - Revisar lo realizado y el impacto de la campaña
  - Hacer encuestas a la población destinataria para determinar el grado de conciencia

<sup>24</sup> Texto tomado del Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid

Edita: Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad, Ayuntamiento de Madrid. Dirección General de Patrimonio Verde. Dirección General de Sostenibilidad y Agenda 21

### 3.9. Norma Ambiental NADF-013RNAT-2007

*Las normas oficiales mexicanas (NOMs) son disposiciones generales de tipo técnico expedidas por dependencias de la administración pública federal. Su objetivo es establecer reglas, especificaciones, directrices y características aplicables a un producto, proceso o servicio.*

*Muy en particular, La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) expide las NOM del Sector Ambiental con el fin de establecer las características y especificaciones, criterios y procedimientos, que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.<sup>25</sup>*

La norma ambiental NADF-013-RNAT-2007, surge de manera emergente durante la Jefatura de Gobierno de Marcelo Ebrard para proporcionar a los instaladores de espacios naturados, la información mínima requerida para brindar seguridad en la instalación de estos. Resultado de la tendencia mundial en la utilización de la vegetación en muros y azoteas, y la intención del Jefe de Gobierno de enverdecer la Ciudad, se empezó a “poner” vegetación en las azoteas sin que hubiese el completo conocimiento de cómo hacerlo.

Por lo tanto, para la correcta aplicación de sistemas de naturación además del presente trabajo, se debe consultar la Norma ambiental de naturación para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación.

Así como la consulta de los siguientes ordenamientos jurídicos aplicables en el Distrito Federal.

#### 3.9.1. Ordenamientos Jurídicos

- Gobierno del Distrito Federal “Ley Ambiental del Distrito Federal” 31 de enero de 2002, México.
- Gobierno del Distrito Federal “Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal” 29 de enero de 1996, México.
- Gobierno del Distrito Federal “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal” 29 de enero de 2004, México.
- Gobierno del Distrito Federal “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, 6 de octubre de 2004, México.

<sup>25</sup> <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas>

- Velázquez, Linda, S. "Organic Green roof Architecture: Design Considerations and System Components, Wiley Periodicals, Inc. Environmental Quality Management." 2005.
- ANSI/SPRI VF-1 External Fire Design Standard for Vegetative Roofs.
- Diseño para la prevención de Levantamiento por Viento de las Azoteas Verde

La norma NADF-013-RNAT-2007 consta de 13 puntos y dos anexos para la instalación de membranas anti raíz.

1. *Introducción*
2. *Objeto*
3. *Ámbito de validez*
4. *Referencias*
5. *Definiciones*
6. *Información previa requerida*
7. *Especificaciones generales*
8. *Especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para cubiertas naturadas*
9. *Especificaciones de operación y mantenimiento*
10. *Bibliografía*
11. *Normatividad relacionada*
12. *Observancia*
13. *Vigencia*

La norma NADF-013-RNAT-2007, es una norma técnica para la correcta instalación de una azotea verde, a continuación, se presentan los puntos más relevantes de la presente norma.

#### 6. *Información previa requerida*

*Para garantizar una correcta planeación y ejecución de una naturación, es necesario conocer características específicas de los elementos constructivos, la edificación y la zona en que se encuentra, para ello es necesario contar con la siguiente información previa a la etapa de planeación y/o proyecto.*

### **3.9.2. Información arquitectónica y física de la edificación**

- *Altitud y altura de la edificación.*
- *Dimensiones de la superficie a naturar.*
- *Pendiente de la superficie a naturar.*
- *Ubicación de los accesos a la superficie que se va a naturar.*
- *Ubicación y estado de las instalaciones que discurren por la superficie a naturar.*
- *Ubicación y estado de las juntas estructurales de cubiertas).*
- *Ubicación y estado de las tomas de agua de riego más cercanas a la superficie a naturar.*
- *Ubicación y estado de tubos, ductos, muertes, etc. y demás elementos constructivos de la superficie a naturar.*
- *Ubicación y estado de los puntos de desagüe y/o bajadas de agua.*
- *Porción o porciones de la superficie a naturar protegida(s) del agua de lluvia por elementos constructivos.*
- *Porción o porciones de la superficie a naturar que reciben sombra de construcciones y/o vegetación aledaña o de los elementos constructivos de la propia edificación durante la mayor parte del día.*
- *Orientación de la superficie a naturar en relación al asoleamiento y vientos dominantes.*<sup>26</sup>

### **3.9.3. Información estructural**

- *Carga máxima admisible, dimensiones y altura de la superficie a naturar y sus elementos portantes.*
- *Ubicación y estado de los elementos estructurales de la planta inferior inmediata a la cubierta (para el caso de cubiertas naturadas).*

### **3.9.4. Información sobre la vegetación**

- *Vegetación adaptada a las condiciones físicas y climáticas de la zona.*
- *Vegetación endémica de la zona.*

### **3.9.5. Especificaciones Generales**

*Las personas que deseen instalar sistemas de naturación deberán presentar el proyecto ejecutivo para aprobación ante la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal previo a que se inicien los trabajos; para lo cual deberán tomar en cuenta estos lineamientos y especificaciones técnicas, respetando siempre el medio ambiente bajo criterios de sustentabilidad desde los procesos de*

<sup>26</sup> Norma técnica de naturación para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 (p. 6)

fabricación de materiales para la naturación hasta el reciclado de los mismos cuando queden en desuso.

**Especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para cubiertas naturadas:**

**8.1. Requerimientos a satisfacer**

- **Estabilidad y resistencia mecánica:** La naturación y sus componentes deben ser estables y resistir las acciones consideradas en el cálculo estructural de la edificación de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, se deberá garantizar el correcto comportamiento estático y estructural de la construcción en su conjunto.
- **Impermeabilidad:** Los sistemas de naturación deben impedir el paso del agua al interior de la edificación protegiéndola de los agentes climáticos previsibles garantizando la evacuación total del agua excedente, una vez alcanzado el estado de saturación del sistema.<sup>27</sup>
- **Resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura:** la naturación debe proyectarse y construirse con los materiales adecuados, garantizando que las raíces de la capa de vegetación no penetren la membrana impermeabilizante para evitar daños a la estructura de la edificación.
- **Seguridad civil en maniobras:** La naturación debe proyectarse y construirse de modo que permita el acceso para los trabajos de mantenimiento, inspección y reparación tanto de los elementos de la propia superficie a naturar como de las instalaciones que discurren por ella, y debe disponer de los elementos de seguridad adecuados para el personal que realiza estos trabajos.

**8.1.1. Requerimientos previos en edificaciones existentes**

En el caso de edificaciones existentes será necesario, en primer lugar, realizar un análisis y evaluación estructural; el cual deberá ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente al momento de presentar el proyecto ejecutivo. Dicha evaluación deberá ser realizada por un Director Responsable de Obra (DRO) y realizarse conforme a lo previsto en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación

<sup>27</sup> Norma técnica de naturación para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 (p. 6)

será considerado como una carga muerta y el valor a tomar deberá corresponder con el indicado en la siguiente tabla.<sup>28</sup>

| Tipo de naturación | Extensiva                  | Semi-intensiva        | Intensiva              |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Carga adicional    | 110 -140 kg/m <sup>2</sup> | 250 kg/m <sup>2</sup> | >250 kg/m <sup>2</sup> |

Figura 50 Clasificación de las cubiertas según su peso

**Nota:** los valores indicados corresponden al peso propio de una naturación en estado saturado (a capacidad máxima de agua) y por ningún motivo podrán considerarse para el cálculo estructural los pesos de una naturación en seco. Los sistemas de naturación deberán tener un peso máximo en estado saturado que sea menor o igual al considerado por el DRO para el cálculo y/o evaluación estructural.

#### 8.1.2. Requerimientos previos en edificaciones nuevas

Se debe incluir el peso de la naturación en estado saturado para el cálculo y diseño estructural de las mismas.

La cubierta a naturar deberá tener una pendiente mínima de 2%.

Las instalaciones que se encuentran en la cubierta deberán estar separadas de esta por lo menos 40 cm. Para facilitar la colocación del impermeabilizante.

Los desagües y bajadas de agua deberán ser dimensionados y calculados según lo establecido en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de sustrato.

#### 8.2. Estática y seguridad estructural

Para la construcción de un sistema de naturación, la carga máxima permitida en un elemento constructivo será aquella determinada en el cálculo estructural de la edificación de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

En estructuras o edificaciones nuevas, se deberá incluir la carga adicional del sistema de naturación en estado saturado para la realización del cálculo estructural de la edificación

<sup>28</sup> Norma técnica de naturación para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 (p. 7)

*de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.*

*Deberá considerarse el peso propio de una naturación en estado saturado considerándolo como una carga muerta con los valores que se muestran en la tabla de la Figura 37.<sup>29</sup>*

---

<sup>29</sup> Toda la información anteriormente leída, es una extracción de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación.

## **Capítulo 4**

---

### **4. Componente Ambiental**



El componente ambiental está integrado por el clima, factores climáticos y elementos del clima. Ver Figura 51. Siendo estos los que van a determinar el crecimiento y desarrollo de la vegetación.

El conocimiento del clima es primordial, por lo que se debe hacer un análisis climático de la zona, ya que este no solo determina el diseño bioclimático de las construcciones, también la mejor ubicación de la vegetación para su instalación y cuidados, y nos ayuda a hacer una mejor selección de la vegetación a utilizar.



Figura 51 Elementos del Componente Ambiental. (EP)

## 4.1. El clima

Conocer las condiciones climáticas de la región donde se proyecta un espacio verde es fundamental, debido a que el crecimiento y desarrollo de la vegetación del lugar dependen de estas.

El clima caracteriza e identifica a una región por el comportamiento de sus componentes y sus variables atmosféricas; esto da lugar a un estilo de vida con características físicas y psicológicas muy particulares en el hombre que lo distinguen por raza. Algunos autores afirman que *“el tipo de clima, junto con la herencia racial y el desarrollo cultural, constituyen uno de los tres principales factores que determinan las condiciones de la civilización”* (Huntintong, 1927)

### 4.1.1. Clasificación climatológica

A comienzos del siglo XX el climatólogo y botánico alemán Wladimir Köppen presentó una clasificación de las distintas zonas climáticas del mundo basándose en los diversos tipos de vegetación que ahí se encuentran. Esta clasificación empírica del clima ha sido mejorada continuamente y, aunque ha sido criticada fuertemente, sigue siendo hasta hoy uno de los métodos más conocidos de clasificación climática.

La clasificación de Köppen se basa en una subdivisión de las zonas climáticas del mundo en cinco grupos principales, los cuales se representan por las letras en mayúscula A, B, C, D, E y H.

Los climas tipo A corresponden a las zonas más cálidas del planeta, y dentro de este grupo se diferencian aquellos climas con estaciones secas en invierno (w), estaciones secas cortas (m) y climas sin estación seca (f). Los climas tipo E abarcan las regiones más frías de la tierra, y se subdividen en climas de tundra (ET) y climas de nieve/hielo (EF). Por otro lado, los tipos de clima de latitudes medias (letras C y D) se especifican mediante una segunda letra minúscula, la cual indica si en esta región climática existe una estación seca en el verano (s), en el invierno (w) o no existe estación seca (f). Aquí también se agrega una tercera letra (a, b, c ó d) que indica cuán cálido es el verano o cuán frío es el invierno. (Rodríguez, 2008). Ver Figuras 52 y 53.

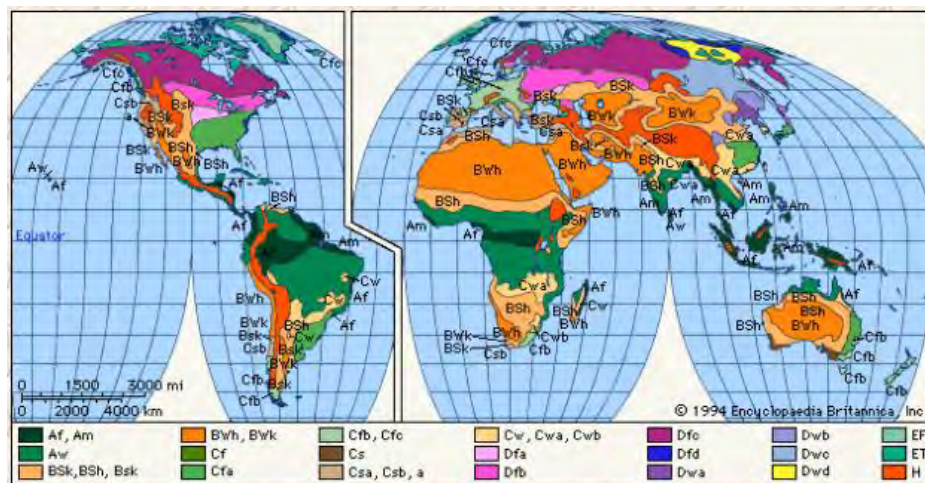


Figura 52 Clasificación climatológica mundial según Wladimir Köppen

| Tipo   | Descripción | Subdivisiones                     |                                  |   |
|--|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| A  | Cálido      | (Aw) Estaciones secas en invierno | (Am) Estaciones secas cortas     | (Af) Climas sin estación seca           |
| E  | Frio        | (ET) Tundra                       | (EF) Nieve/hielo                 |   |
| C y D  | Templados   | (s) Estación seca en verano       | (w) Estación seca en el invierno | (f) No existe estación seca             |
| En estos tipos de clima se agrega una tercera letra (a, b, c ó d) que indica cuán cálido es el verano o cuán frío es el invierno.  |             |                                   |                                  |   |
| B  | Seco        | (BW) Climas áridos                | (BS) Climas semi-áridos          | Una tercera letra (h) cálido y (k) frio |
| En los climas tipo B el principal factor que controla la vegetación no es la temperatura, sino la sequedad. Aquí la aridez no solamente se relaciona con las precipitaciones, sino también con las pérdidas de agua del suelo por evaporación. Dado que la evaporación no es una variable meteorológica convencional, Köppen se vio obligado a expresar la aridez en términos de un índice de temperatura y precipitación. |             |                                   |                                  |   |
| H  | De montaña  |                                   |                                  |   |

Figura 53 Clasificación climatológica. Descripción, basada en (Rodríguez, 2008)

En 1964 E. García modifica esta clasificación de Köppen, adaptándola a los climas de México considerando cinco grupos como se puede observar en la siguiente figura.

| Tipo | Sub tipo | Descripción                     |
|------|----------|---------------------------------|
| A    |          | Tropical lluvioso               |
|      | Af       | con lluvias todo el año         |
|      | Am       | húmedo con lluvias en verano    |
|      | Aw       | subhúmedo con lluvias en verano |
| B    |          | Seco                            |
|      | Bw       | Desértico                       |
|      | Bs       | Estepario                       |
| C    |          | Templado lluvioso               |
|      | Cf       | húmedo con lluvias todo el año  |
|      | Cm       | húmedo con lluvias en verano    |
|      | Cw       | subhúmedo con lluvias en verano |
| AC   |          | Transición                      |
|      | A(C)     | Semicálido del grupo A          |
|      | (A) C    | Semicálido del grupo C          |

Figura 54 Clasificación climatológica de México. Modificación E. García (Rodríguez, 2008). (EP)

Teniendo por último, un sistema de agrupación climática llevado a cabo por los profesores-investigadores de la UAM-A, Figueroa y Fuentes. Tomando en cuenta la temperatura y la humedad relativa y basándose en diversos autores como son Olgyay, Givoni y Szokolay. Véase la siguiente Figura.

|   | Clima Frío<br>Temperaturas < 21°C | Clima Templado<br>Temperaturas entre 21° y 26° C | Clima Cálido<br>Temperaturas > 26°C |
|---|-----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Clima Seco<br>Precipitación < 650 mm                      | Frío Seco                         | Templado Seco                                    | Cálido Seco                         |
| Confort Higrométrico<br>Precipitación entre 650 y 1000 mm | Frío                              | Templado   | Cálido                              |
| Clima Húmedo<br>Precipitación >1000 mm                    | Frío Húmedo                       | Templado Húmedo                                  | Cálido Húmedo                       |

Figura 55 Clasificación climatológica de México. Basada en Olgyay, Givoni y Szokolay. (EP)

### 4.1.2. Importancia de la Vegetación

Físicamente hay normas para establecer las estaciones meteorológicas y así establecer una comunicación internacional entre las mismas. La NASA es una importante célula de recopilación de datos meteorológicos, en México, la captura de datos meteorológicos se encuentra a cargo de la CONAGUA.

Para establecer la importancia de la vegetación, podemos comparar a las plantas con las estaciones meteorológicas, las plantas funcionan como si lo fueran, son confiables, se comportan de manera coherente con el clima y se adecuan eficazmente a los cambios estacionales y las condiciones que el sitio tiene y registran.

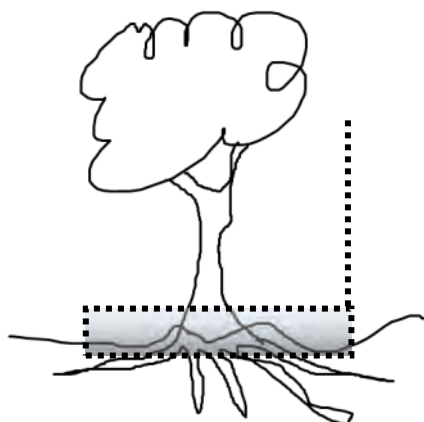
Las plantas tienen ciclos estacionales y literalmente perciben las estaciones del año, las carencias nutricionales en el suelo, la contaminación, los vientos dominantes, etc.

Aunque debemos estar conscientes que los ritmos naturales han variado, también las plantas lo registran.

Así que se puede aseverar la importancia de la vegetación para “pedirles” los datos climatológicos a través de la observación.

### PLANTAS = SENSORES

Si sabemos “leer” a las plantas vamos a tener la capacidad de acertar a la hora de hacer un diseño bioclimático, ya que ellas corroboran cualidades y condiciones climáticas y establecen mecanismos de adaptación a las mismas.



Estación meteorológica de la planta, aquí se registran los mensajes de la planta y el intercambio con el exterior. Ver Figura 56.

Figura 56 Esquema de planta como estación meteorológica. Imagen: Imagen de López Vivero Isaura Elisa y Zermeño Llanes Minerva Abigail

En la actualidad y debido a la demanda de vivienda, se diseña haciendo de lado las orientaciones y estrategias bioclimáticas, por lo que nos vemos obligados a bioclimatizar el entorno. Es aquí donde las plantas son un recurso para lograrlo, ya que son el único material que tiene la capacidad de transmitir calor, lo que las hace “amortiguadores térmicos naturales”.

En una urbe, las zonas de vegetación amortiguan la temperatura, haciendo un balance higrotérmico del clima a su alrededor. Por eso se recomienda hacer bandas arboladas y/o bandas rompevientos para lograrlo.<sup>30</sup>

El último dato de investigación que da una explicación de cómo una planta registra de donde vienen los vientos o dónde hay agua, es la alelopatía. Mensaje odorífico que tiene el suelo, relacionado con cuestiones enzimáticas y mensajes químicos.

El microclima que se genera por condiciones particulares en un lugar afecta significativamente, lo cual puede permitir que una especie introducida se desarrolle, aún sin contar con todas las características que le favorecen.

Por otro lado, las plantas son muy sensibles a las presiones así que al sobrepasar los 2 500 msnm la diversidad se reduce, en condiciones macro climáticas se dan únicamente de 5 a 6 especies.<sup>31</sup> Ver Figura 57.

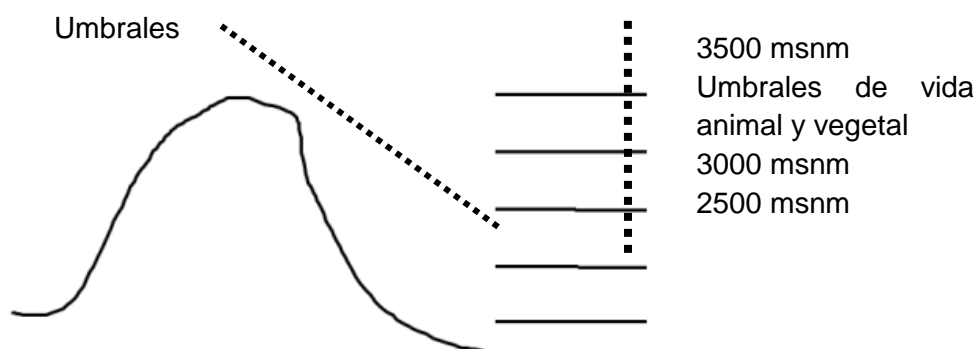


Figura 57 Umbral de crecimiento de las plantas según la Altitud. Imagen: Dra. Esperanza García López. Mayo 2011

<sup>30</sup> Información de los apuntes de la clase de vegetación impartida por la Dra. Esperanza García López.

<sup>31</sup> Información tomada de los apuntes de la clase de Vegetación impartida por la Dra. Esperanza García López. Tema: Importancia de la vegetación. Mayo 2011.

Para adaptarse a mayores altitudes, reducen sus hojas para tener un grado de amortiguamiento térmico con troncos anchos.

La vegetación también se utiliza para el tratamiento de aguas, ya que por regla general todo lo que tiene que ver con la naturaleza tiene la capacidad de regenerarse. Por ejemplo si muere cierta cantidad de vegetación la naturaleza la repone de alguna forma aunque no sea con la misma, pero logra cubrir el porcentaje de biomasa perdida.

### 4.1.3. Relación Clima-Vegetación

La vegetación tiene la característica de adaptarse al clima (vientos, radiación, humedad, etc.), aunque posiblemente el parámetro de adaptación más notorio podría ser el viento; por ejemplo, en costa, posterior al ingreso de los llamados nortes, las palmeras adoptan una posición inclinada con dirección a los vientos dominantes. Ver Figura 58.

La clave del buen desarrollo de una planta y en general de la vegetación, es la raíz. Es la parte más importante del cuerpo vegetal. "Es el cerebro".

La raíz no sólo tiene dos funciones principales, pero las más importantes y que nos compete saber son:

1. Sujetar la planta al suelo.
2. Succionar el agua y las sales minerales del suelo. (alimentar a la planta).
3. Intercambios catiónicos.<sup>32</sup>

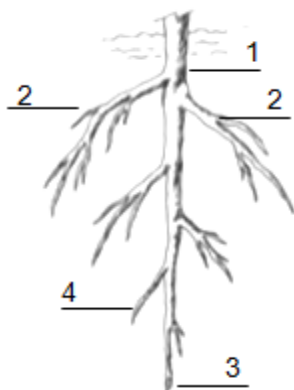
Las partes de una raíz típica son: Ver Figura 59.

1. Raíz principal, es la raíz más gruesa.
2. Raíces secundarias, salen de la raíz principal y no son tan gruesas como la principal.
3. Caliptra, es la protección con la que terminan las raíces. Sirve para que las raíces puedan perforar el suelo.
4. Pelos absorbentes, son unos filamentos diminutos que recubren las raíces y tienen la función de absorber el agua y las sales minerales del suelo.



Figura 58 Vegetación en localidades costeras. Fotografía del Biólogo Especialista Héctor Lara Kimura.

<sup>32</sup> Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica.



**Figura 59** Esquema básico de las partes de una raíz típica  
 Imagen: Tomada de la clase de vegetación. Dra. Esperanza García L. Mayo 2011.

La luz, humedad, temperatura, fertilización, etc. Son los parámetros más importantes a cuidar en un vegetal.

El clima es, con el suelo, uno de los factores principales que hay que tener en cuenta al momento de diseñar un jardín, en este caso, un espacio naturado. Si la planta que vamos a cultivar corresponde a un clima diferente al de nuestra región, ésta no prosperará.

Como veremos más adelante, los elementos que determinan el clima son:

- a) La temperatura. No sólo la baja temperatura con sus heladas dañan las plantas. Los climas con alta temperatura también traen sus complicaciones. Sobre todo, cuando el calor viene acompañado de fuertes radiaciones y una atmósfera seca.
- b) La humedad relativa. Se forma con la evaporación durante el día de los cuerpos de agua, ríos, estanques, lagos, etc. La cual se condensa en forma de rocío como consecuencia del frío nocturno. Para la mayoría de las plantas, la humedad es necesaria. Si el clima es seco y cálido, la respiración y evapotranspiración hace que la planta aumente la pérdida de agua más rápido de lo que le lleva absorberla por las raíces. El agua tiene una importancia vital como para todos los seres vivos, sin agua no hay vida.
- c) La lluvia. La cantidad de agua que cae en forma de precipitación y su distribución, es esencial para el crecimiento de las plantas. La naturaleza del suelo es muy importante en la eficacia de las lluvias. En un suelo arcilloso, compacto, que retiene bien el agua, la menor cantidad de agua

de lluvia será retenida y almacenada. Por el contrario, si el suelo es muy poroso, el agua se va sin ser aprovechada por la planta.

d) La iluminación o luz es indispensable para la transformación en clorofila en las plantas. Pero no todos los vegetales necesitan la misma cantidad ni calidad. Los cactus por ejemplo necesitan un sol directo. Por lo general, la luminosidad determina en gran parte la temperatura.

e) El viento. Cuánto más anchas son las hojas de las plantas, más sensibles son al viento que las arruga y hasta desgarras. Los vientos fríos son tan peligrosos como los cálidos por los riesgos de desecación que acarrearán.

Es importante tomar en cuenta estos factores, ya que determinan la vida y desarrollo de nuestras plantas. Por eso es fundamental conocer las necesidades de las plantas a la hora de seleccionárselas. Si por razones estéticas llegamos a elegir una planta de otra región, es necesario recrear lo mejor posible el clima de su hábitat natural si queremos lograr su buen desarrollo.

## 4.2. Factores Climáticos

Los factores del clima son las condiciones físicas que caracterizan a una región y determinan su clima. Los elementos más importantes y que deben ser tomados en cuenta para diseño óptimo son la temperatura, humedad, precipitación, viento, presión atmosférica, radiación y nubosidad. Además de los factores del clima como la latitud, altitud, relieve y distribución de tierra y agua.

**Latitud:** Determina el grado de inclinación de los rayos del sol sobre la tierra en un punto determinado, ahí radica la importancia de este factor. Conociendo así el asoleamiento que tendrán los muros, ventanas y cubiertas. Se expresa en grados, minutos y segundos. Marca la diferencia entre la duración del día y de la noche.

**Altitud:** Determina la delimitación por el relieve (pisos térmicos). Distancia en metros que se mide a partir del nivel del mar y hacia el plano horizontal donde se encuentra la zona de interés. Factor muy importante que determina el clima ya que, a mayor altitud, menor temperatura.

**Relieve:** Su orientación con respecto a la incidencia de los vientos dominantes, también determina la existencia de dos tipos de vertientes: de barlovento y de sotavento. Este factor determina además la insolación, la vegetación y la cantidad de humedad del aire. Se puede



afirmar que llueve más en las vertientes de barlovento porque el relieve da origen a las lluvias orográficas, al obligar al ascenso forzado de las masas de aire húmedo.

### 4.3. Elementos del Clima

Son las propiedades físicas de la atmosfera y están en continuo cambio debido a que se inscriben en ciclos dinámicos, donde la modificación de una variable afecta a las demás. Es por esto que para realizar el análisis climático se deben tomar valores de periodos de veinte años.

**Temperatura:** Parámetro termodinámico del estado de un sistema; caracteriza el calor o transferencia de energía térmica entre ese sistema y otros. *Se utilizan generalmente tres escalas termométricas: grados Centígrados, Kelvin y Fahrenheit.* (Rodríguez, 2008, p. 17)

Ejemplo:

| Escala                          | °C  | °K  | °F  |
|---------------------------------|-----|-----|-----|
| Ebullición del agua             | 100 | 373 | 212 |
| Fusión o congelamiento del agua | 0   | 273 | 32  |

**Humedad:** Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta (independiente de la temperatura o la presión), o de forma relativa (humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir, sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica). Expresada en porcentaje. El tomarla en cuenta determina en arquitectura el comportamiento de los materiales a utilizar en el desarrollo de un espacio naturado. (Rodríguez, 2008)

**Viento:** Desplazamiento horizontal del aire con respecto a la superficie terrestre. Originándose por las diferencias de presión. Viajando desde las zonas de alta presión hasta las de baja presión. Determinando así los vientos dominantes de una región. Los vientos se caracterizan por su dirección, frecuencia y velocidad.

- Dirección: De donde vienen los vientos.
- Frecuencia: Las veces que se presenta de una dirección presente de una dirección u otra, expresado normalmente en porcentaje.
- Velocidad: Distancia recorrida en una unidad de tiempo, siendo expresada comúnmente en m/seg. (Metros sobre segundo).

El uso adecuado del viento en los espacios arquitectónicos puede ser una estrategia de climatización. En la vegetación determina además la proliferación de plantas no deseadas, esto debido a que el polen viaja con el viento y depositándolo en el espacio natural diseñado, alterando la vegetación propuesta.

**Precipitación:** Es cualquier forma de agua que cae del cielo (lluvia, nieve, neblina y rocío). La forma más común es la pluvial, siendo esta la variación estacional que define el año hidrológico. Su unidad de medida son los milímetros sobre mercurio, donde un milímetro es un litro por metro cuadrado. En las edificaciones puede determinar la dimensión, la forma, la inclinación y hasta los materiales de las cubiertas. Además, el agua pluvial puede ser captada para su tratamiento y reutilizarse principalmente en limpieza y riego.

**Radiación:** Es la cantidad total de energía solar en una sección de un plano horizontal en la superficie terrestre. Está formada por radiación directa (I) y radiación celeste (D). La cantidad de radiación solar depende de:

- *La constante solar*
- *La latitud de la localidad*
- *Periodo estacional*
- *Partículas en suspensión en la atmosfera*
- *El albedo de la superficie terrestre*
- *El clima* (Rodríguez, 2008, p. 21)

### **Contaminación atmosférica**

Aunque la contaminación atmosférica no es un elemento del clima como tal, si incide directamente sobre este modificando sus valores.

El CO<sub>2</sub> es un gas que al absorber el calor, ejerce un efecto invernadero, y un aumento en su concentración está asociado a un posible incremento en la temperatura media del planeta, conduciendo con esto, a un inminente cambio climático. El incremento del CO<sub>2</sub> está relacionado directamente con el aumento de las emisiones debidas al crecimiento de la industria y a la disminución de áreas verdes, ya que estas absorben grandes cantidades de este gas, gracias a la fotosíntesis de las plantas. La contaminación es un grave problema de las grandes ciudades.

Siendo la causa principal, la emisión de CO<sub>2</sub> e hidrocarburos como resultado de la combustión incompleta de la gasolina utilizada en la mayoría de los medios de transporte.

Otro efecto producido por la contaminación atmosférica es la lluvia ácida, producida cuando se mezclan emisiones y sustancias ácidas en esta, principalmente, ácido sulfúrico y clorhídrico. Lo que provoca una disminución del valor del pH de la lluvia a valores situados entre 3 y 4.5.

*“Los efectos nocivos que la lluvia ácida puede producir a los ecosistemas vienen determinados por la cantidad de ácido y por la capacidad de los suelos de contrarrestar esta acidez. Sus efectos en el suelo son:*

- *perdida de nitratos, de manera que las plantas encuentran un medio empobrecido en nutrientes;*
- *liberación del aluminio en la solución del suelo, con la consiguiente toxicidad que comporta para las plantas;*
- *altos contenidos en nitratos y amonio, que provocan desequilibrios nutritivos en la vegetación.”* (Falcón, 2007, p. 60)

## Capítulo 5

---

### 5. Componente Tecnológico

Para el componente tecnológico, se debe tomar en cuenta la estructura de la edificación, el sustrato, la vegetación, la capa impermeabilizante, la capa drenante, la capa filtrante y el mantenimiento. Para el mantenimiento se debe tomar en cuenta como mínimo el riego, la poda y control de plagas. Ver Figuras 61 y 62.

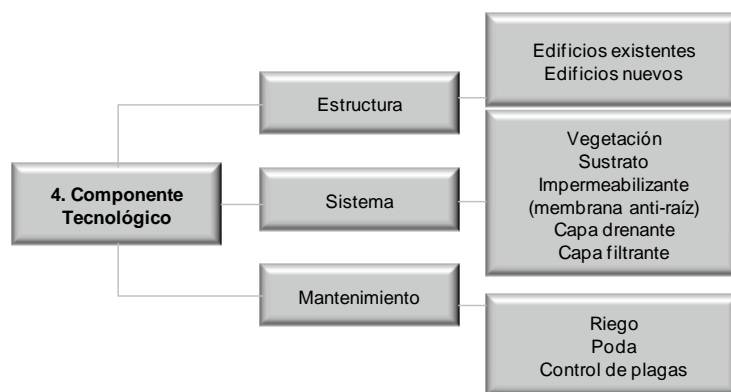


Figura 60 Elementos del Componente Tecnológico. (EP)

Tecnología es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente que permiten diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de las personas. Es una palabra de origen griego, τεχνολογία, formada por téchnē (τέχνη, arte, técnica u oficio, que puede ser traducido como destreza) y logia (λογία, el estudio de algo). Aunque hay muchas tecnologías muy diferentes entre sí, es frecuente usar el término en singular para referirse a una de ellas o al conjunto de todas.

En primera aproximación, la tecnología es el conjunto de saberes, habilidades, destrezas y medios necesarios para llegar a un fin predeterminado mediante el uso de objetos artificiales (artefactos) y/o la organización de tarea.

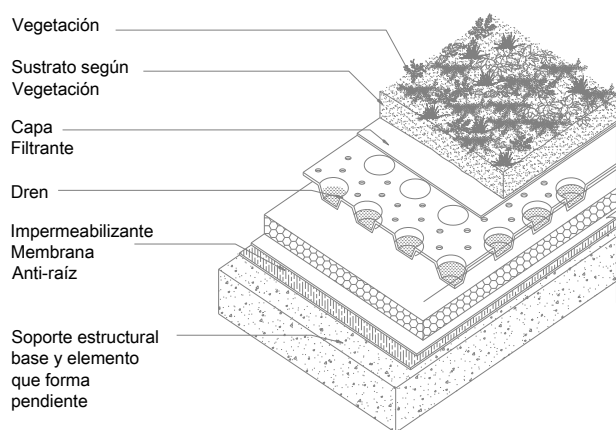


Figura 61 Componente Tecnológico. (EP)

## 5.1. La Estructura

Actualmente casi todos los techos pueden soportar o tolerar una cubierta naturada de cien kilogramos. Además, se pueden resolver los problemas de condensación y cambios de aire en el interior, entre otras alternativas térmicas. Prueba de ello es Alemania que posee una humedad relativa alta, posible aspecto que los lleva a ser precursores contemporáneos en el estudio de cubiertas naturadas, donde el país ofrece subsidios de hasta un cincuenta por ciento.

Este aspecto estructural es determinante para la instalación de un espacio naturado, ya que el peso agregado será soportado por esta.

En el caso de edificaciones existentes será necesaria la realización de un análisis y evaluación estructural. Dicha evaluación deberá ser realizada por un Director Responsable de Obra (DRO)<sup>33</sup> y realizarse conforme a lo previsto en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación será considerado como una carga muerta.

En el caso de edificaciones nuevas, se debe incluir el peso de la naturación en estado saturado para el cálculo y diseño estructural de las mismas como lo indica la norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007.

En base al concepto actual de la naturación, se han clasificado por el tipo de uso y tratamiento de las cubiertas en: extensivo, semi-intensivo e intensivo, y que a su vez determina el peso que se le debe agregar a la estructura del edificio. Esto además del peso de cubierta naturada. Ver Figura 63.

---

<sup>33</sup> Director Responsable de Obra. Persona física que asume la responsabilidad y obligaciones conferidas por los reglamentos y normativas de construcción y seguridad empleados en los diseños estructurales.

| Intensivo<br>>250kg/m <sup>2</sup>                                      | Semi-intensivo<br>250kg/m <sup>2</sup>                            | Extensivo<br>110-140 kg/m <sup>2</sup>                      |
|---|---|---|
| Accesible   | Parcialmente accesible  | Inaccesible, únicamente para mantenimiento                  |
| Diversidad de vegetación y elementos contruidos                         | Diversidad de vegetación y elementos contruidos                   | Poca o nula diversidad de vegetación y elementos contruidos |
| Áreas de extensión media con usos múltiples, dificultad para reemplazar | Áreas de extensión media ciertos usos, dificultad para reemplazar | Para grandes extensiones, fácil de reemplazar               |
| Gran diversidad estética y baja para biodiversidad                      | Diversidad estética y biodiversidad media                         | Diseño sencillo y alta biodiversidad                        |
| Mantenimiento alto  | Mantenimiento medio   | Mantenimiento bajo  |

Figura 62 Clasificación de las cubiertas según su uso, en base a la NADF-013-RNAT-2007. (EP)

## 5.2. El suelo

El suelo es el sostén de los vegetales, y con ellos, el de los animales. Es el primer enlace de una cadena en la que está implicado el ser humano, de aquí el peso del suelo como parte fundamental en el beneficio de actividades antrópicas, como lo son las agrícolas, ganaderas, forestales o paisajísticas.

Debido a que las raíces llegan hasta capas muy profundas, se debe conocer al detalle las características edáficas de este.

### El suelo y las plantas

Las plantas obtienen del suelo: alimento, fijación y parte de la energía para su crecimiento, de tal forma que cualquier modificación sobre éste influye en ellas. El suelo contiene cinco elementos vitales para el crecimiento de las plantas: minerales, materia orgánica, aire, agua y seres vivos.

La materia mineral es la base de un suelo, y sobre ella se disponen los demás elementos. *El suelo contiene los elementos minerales básicos para la alimentación de las plantas, principalmente: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc, manganeso, boro, cloro y molibdeno.* (Falcón, 2007, p. 60)

Las partículas orgánicas, que en general son residuos de materia viva (humus), se albergan en los huecos de los soportes minerales; su existencia es muy diversa, lo que establece el nivel de y fertilidad del suelo. *El humus, está compuesto por materiales orgánicos en estado muy avanzado de fermentación biológica, y de su mineralización surgen las sales que alimentan a los vegetales.* (Falcón, 2007, p. 61)

La presencia tanto del aire como del agua en el suelo, juegan un papel importante. El agua es donde se diluyen las sales minerales que nutren a las plantas; es el elemento que constituye una gran parte del cuerpo de estas, además de ser esencial para su vida. *La absorción del agua y los nutrientes minerales depende de su disponibilidad en el suelo y de la actividad radical de las plantas.* (Falcón, 2007, p. 61)

Por otra parte, el aire regula la transformación de energía y estimula el metabolismo de las células de los seres vivos para la descomposición y asimilación de las sustancias recibidas (reacciones aeróbicas) en las capas superficiales; impulsando a su vez, las de las capas más profundas, como se puede apreciar en la Figura 64<sup>34</sup>.

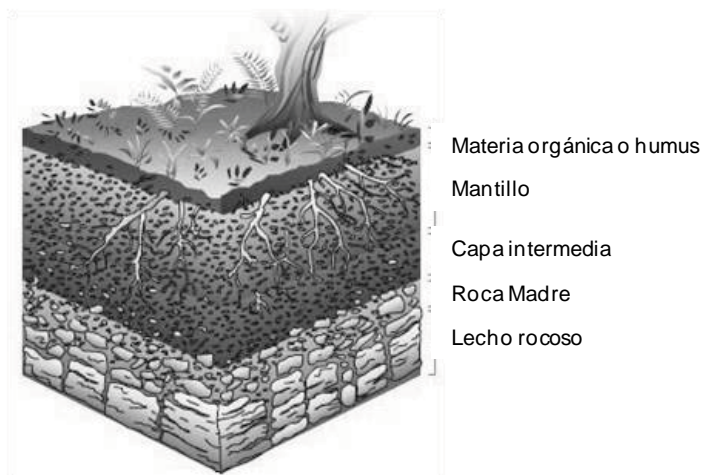


Figura 63 capas que conforman el suelo

En conclusión, podemos decir que el suelo otorga a las plantas los elementos físicos, químicos y biológicos que estas requieren, les da soporte, nutrimentos, agua y la retención de esta, aireación y drenaje; de aquí la importancia a la hora de proponer un sustrato para poder establecer vegetación en una cubierta, ya que este debe cubrir la función del suelo. (López, 2010)

### 5.3. El sustrato

La palabra sustrato alude al suelo trabajado por el hombre y que se encuentra contenido en un recipiente, es decir, en la horticultura el sustrato es cualquier modo o método de cultivo firme y

<sup>34</sup> Fuente de la foto: <http://es.slideshare.net/rdavidflorez/el-suelo>



estable para el crecimiento de la planta en un depósito siempre y cuando cuente con un sistema de drenaje.

La palabra sustrato proviene del latín substratum que denota la acción de extenderlo por debajo de algo,<sup>35</sup> es así la función del suelo que se extiende por debajo de la vegetación; por lo que sustrato pasa a sustituir al suelo de manera completamente artificial.

El sustrato está conformado por partículas minerales de origen natural tales como: arcillas, arenas, limos o minerales que han sido transformados por el hombre, tales como la agrolita, perlita, vermiculita y arcillas extendidas o composta, turba y tierra de hoja, siendo estos últimos compuestos orgánicos. Ver Figura 65.

El sustrato le permite al sistema anclarse y le proporciona soporte a la planta, protege a la raíz de la luz posibilitando su respiración y la reserva de nutrientes.



Figura 64 Ejemplo de preparación de sustrato

Es por ello que el sustrato en las cubiertas naturales juega un papel muy importante, ya que debe dotar de sustento a las plantas. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que el sustrato genera una carga muerta incrementando el peso de la cubierta que soporta la edificación, por lo que un mal cálculo en el peso de la mezcla puede generar problemas. (Dunnet & Kingsbury, 2008), especialmente si no se toma en cuenta el peso del sustrato saturado de agua, puesto que será en ese momento en el que el sustrato presente mayor peso muerto.

Por lo tanto, es fundamental considerar que las cubiertas o las losas en edificaciones antiguas no necesariamente están calculadas para resistir la carga extra del sustrato, y el peso de la vegetación en estado adulto, por lo que, en caso de decidir implementar un sistema naturado en una edificación antigua, se deberá reforzar la estructura o la losa de tal manera que no se provoque ningún riesgo para la edificación.

<sup>35</sup> Definición del Diccionario Larousse (2009) Gran diccionario d la lengua española. Larousse. Barcelona Pág. 1661 AM. México

Por otra parte, es necesario recurrir a sustratos óptimos y con especiales características para la implementación de cubiertas naturadas. El sustrato óptimo, debe no solo ser liviano sino eficiente en el abasto de los nutrientes, como ya se pudo apreciar en las características que el suelo le proporciona a las plantas, con buena aireación de la raíz, permitir que la planta absorba el agua y la retenga de manera adecuada, permitiéndole que disponga de ella constantemente, además de la suficiente porosidad para que pueda drenar el exceso de agua las lluvias o riego. (López, 2010, p. 47)

Los sustratos están compuestos y deben ser una mezcla de materiales minerales químicamente inertes y orgánicos químicamente activos como se muestra en la siguiente Figura.

|          | Material                               | Función  | Propiedad   |
|----------|--|--|---|
| Sustrato | Minerales<br>Químicamente<br>Inertes*  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar estructura.</li> <li>• Determinar la distribución de los poros.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiten el paso del agua.</li> </ul>      |
|          | Orgánicos<br>Químicamente<br>Activos** | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención de agua y nutrientes.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento de la vegetación.</li> </ul> |

Figura 65 Componentes del Sustrato, basada en (López, 2010). (EP)

\*Son granulares.

\*\*Son arcillas y materiales orgánicos.

El sustrato responderá a requerimientos y necesidades particulares, por lo que su composición se modifica dependiendo de:

- La ubicación del proyecto
- Requerimientos del estrato vegetal seleccionado
- Disponibilidad de materiales inertes y activos
- Dimensión del proyecto
- Peso admisible

Además, se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales como el clima de la zona, precipitación, asoleamiento y viento.

Para la adecuada ejecución del abonado se deberán garantizar los niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, magnesio, potasio, calcio, manganeso y micro elementos de manera uniforme en toda la superficie del sustrato con capa de vegetación.

*“No existe un sustrato de uso regular u homogéneo o una mezcla tipo o única para cubiertas naturada”. (López, 2010, p. 47)*

Pero si debemos tomar en cuenta los agentes nutritivos que debe contener el sustrato, ya que aportan diversos beneficios para el desarrollo de las plantas. *El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para el crecimiento y el desarrollo de cualquier organismo vivo.* (Greenwood & Halstead, 2002).

Incluso algunas bacterias funcionan como fijadores del nitrógeno, permitiendo que la planta lo asimile. Dichas bacterias no se aprecian a simple vista.

Los beneficios que aporta cada elemento para el desarrollo y crecimiento de las plantas son los siguientes:

| Elemento       | Beneficio   |
|----------------|---|
| Nitrógeno (N)  | Crecimiento de las hojas y tallo  |
| Fósforo (P)    | Desarrollo de las raíces  |
| Potasio (K)    | Floración y fructificación, maduración de los troncos leñosos, fortalecimiento de los tejidos |
| Magnesio (Mg)  | Formación de clorofila (pigmento verde en las hojas)  |
| Calcio (Ca)    | Formación de células  |
| Hierro (Fe)    | Formación de clorofila  |
| Manganeso (Mn) | Formación de clorofila  |

Figura 66 beneficios que le aporta cada elemento nutriente a la planta

La Norma de naturación NADF-013RNAT-207 para el Distrito Federal, indica que los materiales adecuados para la conformación de la capa de sustrato son:

- *Mezcla de partículas minerales con o sin materia orgánica.*

- *Partículas minerales de estructura porosa (piedra volcánica, piedra pómez, arcilla expandida, etc.).*
- *Placas de tejidos industriales (lana de roca mineral).*

*Para mejorar alguna característica de la mezcla de sustrato, se pueden utilizar los siguientes materiales adicionales:*

- *Acolchados de materia orgánica.*
- *Fertilizantes orgánicos y minerales de liberación lenta.*
- *Partículas minerales porosas de alta estabilidad.*
- *Productos fijadores y retenedores de agua.*
- *Uso de abonos de liberación lenta y para sistemas de naturación con una capa de sustrato poco profunda es necesario aplicar el abono en solución.*

#### **5.4. Las plantas**

Los componentes de las zonas verdes son muchos y diversos, pero sin duda alguna, el componente que más abunda y destaca, es la vegetación. Por lo que el conocimiento de los vegetales y de todo lo que implican, como: características de crecimiento, necesidades hídricas, edáficas y de asoleamiento, aspectos estéticos y culturales asociados, es primordial para que la zona verde que se diseñe resulte armónica y en el caso de cubiertas naturadas, funcional.

Para que la elección de las plantas resulte apropiada, se debe tener conocimiento de las propiedades y las aportaciones de cada uno de los diferentes grupos de vegetación que constituyen la estructura vegetal de los jardines, y que definen sus posibles utilidades.

Al cultivar las plantas en contenedores, la tierra se compacta cinco veces más que en su estado normal o en un vivero, cambian totalmente sus condiciones de luz, de aire, de vientos, riego, fertilización etc., y pueden morir.

#### **5.5. Clasificación vegetal**

En un principio se hicieron clasificaciones en base a su utilidad, posteriormente a su aspecto. Una primera forma de clasificación vegetal es la que se basa en características biológicas. Es decir, por su aspecto morfológico y la estructura anatómica. Siendo esta la más significativa para considerar las diferencias de la vegetación y entender cómo se conforman los estratos. Ver Figura 68.

| Estratos | Características   |
|----------|---|
| Árboles  | Son las plantas que presentan un eje principal desde la base, tronco. Presentan un proceso de lignificación que se refiere a la formación de madera. El tronco forma un sólo eje principal leñoso que se ramifica hasta cierta altura, dando lugar a la formación de la copa. Estas plantas, alcanzan por lo general dimensiones considerables, tanto en altura como en espesor del tronco. |
| Arbustos | Estos organismos presentan al igual que los árboles, crecimiento en altura y en grosor del tallo, así como el proceso de lignificación; en forma general el crecimiento es menor y poco leño. La diferencia básica con los árboles es que el tronco se divide desde la base y no presentan eje principal.   |
| Hierbas  | A diferencia de los árboles y los arbustos, este tipo de plantas sólo presentan crecimiento apical y no presentan crecimiento en grosor, ni lignificación de sus tallos. El tamaño es sumamente variable. Las hierbas en general, ocupan las capas bajas y rasantes, formando tapetes que cubren el suelo y lo preservan.   |

Figura 67 Clasificación según su Forma Biológica. (López, et al., 2000, pp. 9, 10).

Se han utilizado diversas clasificaciones con el fin de diferenciar y agrupar las comunidades vegetales y encontrar los tipos biológicos que las caracterizan y que permiten las comparaciones entre comunidades distantes.

El sistema de clasificación que ha sido bien aceptado, es el que utiliza las formas de vida de las plantas como criterio. El botánico danés Christen Christiansen Raunkiaer<sup>36</sup> en 1934, desarrollo este sistema tomando como base los órganos de perennación que éstas presentan, es decir, como es su desarrollo en la época desfavorable, que, dependiendo de los distintos climas, pueden caracterizarse por las bajas temperaturas o la sequía, dando lugar al ritmo anual y definiendo la amplitud del ciclo climático. *Factor muy importante en el entendimiento de los ecosistemas, lo cual se refleja claramente en la fisonomía de la comunidad, en aspectos, como su altura, verdor y cambios que presentan a través del año.* (López, et al., 2000, p. 11)

Esta clasificación es de gran utilidad al diseñar espacios naturados, ya que se puede pre visualizar el aspecto de este, durante el año, obteniendo la ventaja de manejar los conceptos de estacionalidad y proceso que se presentarán. Otra ventaja, es en el control de las malezas, ya que muchas de ellas debido a su forma de vida, son más agresivas y resistentes, con el conocimiento de estas, se puede planear su control y evitar su propagación. El conocimiento de vida de las plantas, también es de utilidad para definir el tipo de mantenimiento que se requiere.

<sup>36</sup> Ecólogo y Botánico danés, conocido por su sistema de clasificación botánica (sistema de Raunkiaer), que se basa en la morfología y la posición de los nodos de crecimiento de las plantas en la temporada desfavorable.

Por último, esta clasificación nos ayuda en el diseño de espacios abiertos, si queremos recrear un ambiente específico o la regeneración de uno afectado.

### 5.6. La vegetación y los criterios de selección

Al incorporar vegetación en las cubiertas de los edificios ayuda a incrementar la masa vegetal urbana de manera notable.

Las cubiertas vegetales añaden valor que se debe considerar con respecto al verde urbano, ya que no solo contribuye a mejorar la calidad de la atmósfera o a la absorción de polvo suspendido, permite aislar térmicamente los edificios, reduciendo el uso de calefacción en invierno y de aire acondicionado en verano. Además, en edificaciones de vivienda se pueden convertir en espacios verdes comunes.

Las azoteas verdes, cubiertas vegetales o ecológicas se basan en un sistema de impermeabilización y aislamiento, combinándose con una superficie vegetal que debe ser ligera, debe cubrir, ser resistente y autosuficiente.

Las plantas nativas son las más apropiadas para las cubiertas debido a que su mantenimiento es mínimo, gracias a la adaptación química del suelo y a las condiciones físicas de la región a través del tiempo, así como, a enfermedades y plagas de la localidad. (CONAFOVI. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, 2005).

Seguidas de las especies naturalizadas, las especies en proceso de naturación y por último las especies exóticas, siempre y cuando sean especies en su cualidad de planta útil, es decir, que este justificado.

Así que, podemos aseverar que la vegetación es el elemento clave para el “éxito” de un sistema de naturación, por lo que la selección de esta, es primordial y para hacerlo de forma correcta, lo primero que se debe conocer es el clima en donde se instalará la azotea verde. Una vez teniendo los datos de temperatura, humedad, precipitación radiación y viento, podemos buscar en las guías agronómicas de la CONABIO<sup>37</sup>, las especies que mejor se adapten a las condiciones climáticas del sitio.

Además, se puede revisar el anexo B de la norma NADF-006-RNAT.2012, que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades,

<sup>37</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes en el distrito federal. El cual, indica las especies endémicas de la Ciudad de México.

Aunado a los criterios de selección ya mencionados, de manera general se puede decir que las plantas crecen de diferente forma dependiendo de cada región, por lo que también se deben considerar los aspectos físicos y los requerimientos de diseño. Ver Figuras 68 y 69.<sup>38</sup>

| Aspectos Físicos   |   |
|--|---|
| <b>Clima</b>   | Las características de altura rigen el tamaño de las áreas verdes, por ejemplo, en zonas tropicales deberán ser más espaciosas que en zonas áridas  |
| <b>Luz</b>   | Algunas especies no pueden sobrevivir en un lugar sombreado, se deforman y pierden sus hojas.   |
| <b>Superficie y espacios disponibles para el crecimiento</b> | Extensión del espacio disponible para el crecimiento  |
|  | Desarrollo vertical Del tallo y la raíz de un árbol adulto para asegurar que llegue a su madurez sin toparse con obstáculos aéreos ó subterráneos.<br>No es recomendable sembrar árboles de gran envergadura debajo de los cableados eléctricos ó telefónicos |
|  | Piso con suficiente perfil de suelo Para crecer, y evitar que las plantas mueran, rompan banquetas y/o dañen guarniciones, techos, fachadas o bloqueen la visibilidad de los señalamientos  |
| <b>Suelo</b>   | Capacidad de retención de agua y drenaje  |
|  | Compactación, que en caso de ser muy densa, el crecimiento de la vegetación se ve reducido en forma severa debido a una oxigenación deficiente en la zona de las raíces   |
|  | Calidad, para que las plantas no tengan el medio idóneo para prosperar  |
| <b>Calidad de la planta</b>                                  |   |

Figura 68 Aspectos físicos a considerar para la selección de vegetación

<sup>38</sup> Información de la Guía de diseño de áreas verdes de CONAVI

| Requerimientos de diseño                   |   |
|--|---|
| <b>Regulación de humedad y temperatura</b> | La vegetación la regula de forma constante. Inyecta grandes cantidades de agua a la atmósfera mediante la evapotranspiración  |
| <b>Su función específica en el paisaje</b> | Tamaño y tipo de sustrato que es conveniente introducir dependiendo de cada espacio urbano  |
| <b>Escala espacial</b>                     | La percepción espacial que se tiene en los espacios abiertos es siempre de menor tamaño que la realidad y los paramentos (límites verticales) son las condicionantes de la proporción |
| <b>Valor funcional</b>                     | Conciliación entre valores funcionales con relación a las limitaciones de espacio   |
| <b>Control de viento</b>                   | Se maneja dirigiéndolo o redirigiéndolo, incrementando su velocidad e impidiendo su paso, lo cual se logrará en todos los casos gracias al follaje de las plantas                     |
| <b>Contaminación</b>                       | Las plantas ayudan de gran manera con los contaminantes atmosféricos. Principalmente controlando las partículas suspendidas   |
| <b>Asoleamiento</b>                        | La sombra que produce la vegetación juega un papel importante en el control del asoleamiento.   |
| <b>Erosión</b>                             | Factor importante que debe evitarse, pues sin suelo no hay plantas. No solo se debe crear, se debe cuidar que se mantenga en su sitio.  |

Figura 69 Requerimientos de diseño a considerar para la selección de vegetación

La capa de la vegetación no solo debe estar diseñada en base a las condiciones climáticas del sitio, también debe ser vegetación adaptada a las condiciones de la azotea, es decir, vegetación resistente a un medio seco como son los xerófitos.<sup>39</sup>

## 5.7. Las plantas crasas y suculentas

Dado que las azoteas están expuestas a condiciones ambientales extremas como son el asoleamiento, fuertes vientos y cambios de temperatura; condiciones que se enfatizan en la vegetación, motivo por el cual, se reduce el número de especies que sean capaces de sobrevivir estas condiciones. A este reducido número de especies pertenecen los cactus, las pitas, las yucas, las chumberas<sup>40</sup> o las distintas especies de *Mesembryanthemum*<sup>41</sup>.

<sup>39</sup> Las xerófitas son plantas perennes capaces de soportar grandes sequías, sobre todo del suelo, por lo menos durante cierto tiempo. Se encuentran en desiertos, estepas y roquedales áridos.

<sup>40</sup> f. Planta cactácea con tallos aplastados, carnosos y hojas en forma de palas con espinas, cuyo fruto es el higo chumbo. Es sinónimo de *nopal*.

<sup>41</sup> Es un género de planta ornamentales con unas 1300 especies descritas de la familia Aizoaceae, subfamilia Mesembryanthemoideae





Las cactáceas (Cactaceae) son una familia de plantas suculentas, la gran mayoría espinosas (cactus o cactos). Esta familia es endémica del continente americano y las Antillas. Son plantas que resisten a las sequías, se defienden de posibles agresiones y las hay en diversas formas y colores; también las hay rastreras y cubre suelos.

Las condiciones extremas provocan adaptaciones de las plantas, por ejemplo, la forma compacta de su estructura reduce el marchitamiento por la exposición al sol y al viento; o el acolchonamiento en la mata provoca condiciones microclimáticas como son la humedad, protección contra el viento en las zonas donde crece la planta, así como la protección contra los cambios bruscos de temperatura.

Las especies de la familia de las Cassulaceae realizan la fotosíntesis mediante el metabolismo ácido de las crasuláceas, por sus siglas en inglés CAM. Esto significa que por las noches abren los estomas<sup>42</sup> permitiendo el paso del aire, cerrándolos durante el día evitando así la pérdida de agua. *Estas plantas tienen ventajas adaptativas para sobrevivir a la sequía.* (López, 2010, p. 58)

La raíz, el tallo o las hojas de estas plantas, se han engrosado para poder almacenar agua. Esto les permite acumular reserva de este vital líquido durante largos periodos, sobreviviendo en ambientes con escases de agua.

<sup>42</sup> Pequeños orificios o poros de las plantas, se localizan al reverso de las hojas.

Para hacer posible la captación de la insuficiente humedad del ambiente, muchas de las plantas suculentas presentan pelillos en la superficie que retienen el rocío matutino. Otro método para optimizar la retención de humedad es la reducción en el número y longitud de sus ramificaciones, además del de la planta, limitando el número de ramificaciones y la longitud de las mismas, así como el desarrollo de recubrimientos pruinosos<sup>43</sup> en la superficie de hojas y tallos.

Los cactus muestran una adaptación diferente al resto de las suculentas, y es la de transformar hojas en espinas, cumpliendo estas, tanto la función de retener el agua como de defender a la planta. El tallo no solo almacena el agua, en su superficie lleva a cabo la fotosíntesis.

En el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, tienen como Misión: “Investigar la diversidad, el uso, el manejo y la importancia cultural de la flora mexicana en general y de algunas familias botánicas en particular (Agavaceae, Cactaceae, Crassulaceae, Orchidaceae y otras familias afines), así como promover el uso sostenible y la conservación in situ y ex situ de dicha flora y difundir su conocimiento a la comunidad científica y la sociedad en su conjunto”.

Motivo por el cual, era necesario visitar antes de hacer una selección de especies al Biólogo Panuncio Jerónimo Reyes Santiago, responsable de la colección de crasuláceas y del programa de cultivo y propagación de cactáceas y suculentas en apoyo a la conservación de especies bajo alguna categoría de riesgo. También es responsable del programa de azoteas verdes, brinda asesorías y capacitación que proporciona para el establecimiento de azoteas verdes, vinculando a otras Instituciones. Participa en cursos, talleres conferencias y otras actividades.<sup>44</sup>

Obteniendo de esa visita un listado con las especies garantizadas para utilizar con éxito en sistemas de naturación. Considero como dato relevante, decir que dicha lista fue elaborada del puño y letra del Doctor Jerónimo. (Anexo 1). A continuación, se enlistan dichas especies:

<sup>43</sup> Que presenta una secreción semiopaca, que aparenta gotas de rocío congeladas en la superficie.

<sup>44</sup> Información obtenida del sitio oficial web del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

| Crasuláceas                          |                                   | Cactáceas                   |                              |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <i>Sedum pachyphyllum</i>            | <i>Graptosedum</i> “Vera Higgins” | <i>Opuntia filas-indica</i> | <i>Agave angustifolia</i>    |
| <i>Sedum dendroideum</i>             | <i>Graptopetalum paraguayense</i> | <i>Opuntia joconostle</i>   | <i>Agave</i> “variegata”     |
| <i>Sedum moranense</i>               | <i>Echeveria gigantea</i>         | <b>Agaváceas</b>            | <b>Nolinaceae</b>            |
| <i>Sedum griseum</i>                 | <i>Echeveria gibbiflora</i>       | <i>Agave attenuate</i>      | <i>Beaucarnea recurvata</i>  |
| <i>Sedum rubrotinctum</i>            | <i>Echeveria agavoides</i>        | <i>Agave celsii</i>         | <i>Dasylirion acrotriche</i> |
| <i>Graptofedia</i> “Darley Sunchine” | <i>Echeveria elegans</i>          | <i>Agave potatorum</i>      | <i>Nolina longifolia</i>     |

Figura 70 Especies sugeridas por el Biólogo P. Jerónimo Reyes

Dentro de la familia de las Crasuláceas se encuentran las especies del Género Echeveria. Género del continente americano y casi el 85% de sus diferentes especies (130 aproximadamente), se encuentran en México. (Reyes, et al., 2014).

Las Echeverias tienen una gran importancia ambiental, además de diversos usos medicinales, ornamentales y comerciales.

*Las Echeverias están presentes en una gran variedad de ambientes; tales como en zonas montañosas, bosques de pino, encinares y de bosque de pino-encino, en selva baja caducifolia, matorral xerófito y en algunos bosques mesófilos de montaña.* (Reyes, et al., 2014, p. 11)

Cabe mencionar que a pesar de que es una especie con una creciente demanda, son pocos los viveros donde se cultivan.

Además, lo que se sabe de las especies de este género, se basa en investigaciones de campo a través del tiempo que se llevan a cabo en el Jardín Botánico de la UNAM, así que no existen estudios formales en la biología de las echeverias, pero bien vale la pena tomarlas en consideración para ser utilizadas en los espacios a naturalar.

## 5.8. Género Echeveria

### Características Ambientales

- Viven y se reproducen en ambientes desérticos o áridos.
- La mayoría de las especies crecen en suelos delgados, con poco sustrato.
- Almacenan agua hasta por tres meses.
- Tienen arreglos en forma de roseta.
- Cuentan con epidermis gruesa, lo que impide el marchitamiento por desecación.
- Cuentan con la capacidad CAM, por sus siglas en inglés (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas). Es decir, sus estomas se abren en la noche, evitando así la pérdida de agua a la vez que toman el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Algunas especies tienen tricomas (pelos diminutos), lo que permite que atrapen contaminantes contenidos en el aire.

La propagación se puede hacer por semilla (polinización) y vegetativa, de esta última hay cuatro formas: esquejes, hijuelos, hojas y brácteas.

Para la propagación por semilla es necesario contar con semillas de calidad y al menos dos plantas de la misma especie. Cuando se mantiene a las plantas en un invernadero, se debe polinizar de manera manual para obtener semillas puras.

Para la propagación vegetativa no se requieren semillas, esta se puede producir a partir de partes de la planta como son los tallos, hijuelos, hojas y/o brácteas. Ver Figura 71.

| Propagación de las Echeverias |              |  |   |
|-------------------------------|--------------|--|---|
|                               |              | Ventajas   | Desventajas   |
| Semilla                       | Polinización | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay una mayor variabilidad genética.</li> <li>• Se obtienen plantas híbridas que son estéticamente más atractivas o resistentes.</li> <li>• Permite la producción de plantas a gran escala.</li> <li>• Se pueden seleccionar los mejores individuos para fines ornamentales.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son plantas que no se propagan por vía vegetativa</li> <li>• Se debe contar con al menos dos plantas madre de diferente origen.</li> <li>• El crecimiento de las plantas es más lento. Requiere más cuidados e infraestructura.</li> </ul> |
|                               |              |  |   |
| Vegetativa                    | Esquejes     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En menos tiempo se obtienen individuos de mayor tamaño.</li> <li>• Con una sola planta es suficiente.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye la variabilidad genética del cultivo</li> <li>• No todas las especies se pueden producir así.</li> </ul>   |
|                               | Hijuelos     |  |   |
|                               | Hojas        |  |   |
|                               | Brácteas     |  |   |

Figura 71 Propagación de las especies del género Echeveria de la familia de las Crasuláceas, basada en (Reyes, et al., 2014) (EP)

Para el cultivo de este género como en todas las plantas, “*el clima es uno de los factores más importantes para realizar el mejor cultivo de las echeverias, pues de él dependen las condiciones que se le van a proporcionar a cada planta*”. (Reyes, et al., 2014, p. 66)

La mayoría de las especies de este género, se encuentran en los bosques, es decir, habitan en humedad y donde la vegetación que la rodea le proporciona sombra. Algunas especies que habitan en lugares de mayor altitud y más fríos, pueden no desarrollarse en sitios muy cálidos, así que debe buscarse darles las condiciones de su bioclima de origen, este puede ser con malla sombra por ejemplo. Otras especies de mayor tamaño, pueden colocarse directamente al sol sin riesgo de que se quemen, en algunas especies puede ser incluso favorable para desarrollar colores y formas más atractivos.

La norma NADF-013-RNAT-2007 sugiere para la vegetación lo siguiente:

*La vegetación utilizada en la naturación extensiva deberá tener sistemas radicales de poca profundidad, con buena capacidad de regeneración y con una altura de crecimiento menor a 50 cm. Las especies vegetales deberán cumplir con el máximo posible de los requerimientos siguientes:*

- *Con un desarrollo tapizante rápido y duradero.*
- *Resistentes a la acción del viento.*
- *Resistentes a largos periodos de sequía.*
- *Resistentes a las temperaturas extremas de la zona.*
- *Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.*
- *Resistentes a radiaciones solares elevadas.*

*Con fines orientativos y no restrictivos se enlistan a continuación algunos grupos de vegetación que suelen adaptarse adecuadamente a estas condiciones:*

- *Césped y pastos silvestres.*
- *Plantas C-4.*
- *Plantas CAM “Crasulacean Acid Metabolism”.*
- *Plantas Cespitosas.*
- *Plantas Herbáceas Perennifolias.*
- *Plantas Subarbuscivas.*
- *Plantas Suculentas.*
- *Plantas Vivaces.*

## 5.9. Sistema

Un sistema de naturación es el tratamiento técnico de superficies edificadas, mediante el cual se crea una superficie vegetal inducida en cualquier tipo de inmuebles.<sup>45</sup> Se debe tomar en cuenta: la estructura de la edificación, el sustrato, la vegetación, el sistema (Capa impermeabilizante anti-raíz, capa drenante y capa filtrante) y el mantenimiento del sistema naturado, específicamente de la vegetación y el sustrato. Se le denomina así debido a que se llevará a cabo mediante el “conjunto de saberes, habilidades, destrezas y medios necesarios para llegar a un fin predeterminado mediante el uso de objetos artificiales (artefactos) y/o la organización de tareas”.

Para fines prácticos de organización para la investigación del presente trabajo, se separó a la estructura, vegetación y sustrato del sistema. Quedando en el denominado sistema, únicamente las capas que van entre la estructura y el sustrato (Impermeabilizante anti-raíz, drenante y filtrante), las cuales permiten el adecuado funcionamiento de todo el sistema y que se explican en los siguientes apartados. Existen otras capas que se les denomina capas auxiliares, la decisión de colocarlas o no, depende del clima y de necesidades específicas que esperan obtenerse del sistema de naturación. Estas capas auxiliares se intercalan entre las de impermeabilización para separar, evitar adherencia, protección química o física y nos son designadas como soportes base. Cabe mencionar que tanto la capa filtrante como la drenante están nominadas como auxiliares, pero dada la importante función que realizan, se ponen a la par de la capa impermeabilizante y que no se puede prescindir de ellas.

### 5.9.1. Impermeabilización

Básicamente la función de los impermeabilizantes es proteger las construcciones de las filtraciones de agua, prolongando y preservando así la vida útil de cualquier edificación. Evitando además, daños como: plagas de insectos, hongos y hasta fallas de construcción. Es esencial la impermeabilización de techos, paredes, azoteas, piscinas o cualquier superficie que vaya a estar expuesta al agua. Durante la época de lluvia se pueden acrecentar los problemas de filtraciones de agua. Problemas que requieren de un experto y de un conocimiento básico sobre el problema para encontrar soluciones. Hay toda una variedad de impermeabilizantes, y honestamente no muy fácil de clasificar. Pero podemos agruparlos dependiendo de su uso. Ver Figura 72.

<sup>45</sup> Siempre y cuando la estructura de la edificación resista la carga agregada del sistema y sea avalado por un Director Responsable de Obra, DRO.

| Para la Industria de la Construcción   | Para Techos  | Para Paredes  | Para Terrazas  |
|--|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cemento</li> <li>• Membrana Líquida Impermeabilizante</li> <li>• Materiales bituminosos</li> <li>• Membranas bituminosas</li> <li>• Membrana líquida de poliuretano</li> <li>• Acritón</li> <li>• Asfáltico</li> <li>• Cementoso</li> <li>• Prefabricados</li> <li>• Ecológicos</li> <li>• Elásticos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asfalto en frío</li> <li>• Asfalto en caliente</li> <li>• Acrílico</li> <li>• Termo acrílicos</li> <li>• Resina acrílica</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cemento</li> <li>• Resinas sintéticas</li> <li>• Asfaltos</li> <li>• Derivados del petróleo</li> <li>• Acrílicos</li> <li>• Poliuretano</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloro caucho</li> </ul> |

Figura 72 Clasificación de Impermeabilizantes según su uso, basada en (Briz, 2004). (EP)

Nos vamos a concentrar en las láminas de asfalto, mineral de origen natural, se encuentra en casi todos los crudos del petróleo y se puede obtener de forma artificial por destilación de hidrocarburos. (Petróleo).

El asfalto, material viscoso, pegajoso y de color negro, es usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras por ser un material altamente impermeable y adherente, capaz de resistir altos esfuerzos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

Por lo que gracias a esas propiedades del asfalto, a su poca sensibilidad a la humedad y a los efectivos resultados contra la acción del agua obtenida por la precipitación, su segunda utilización es como impermeabilizante de techos.

### Membranas con láminas de asfalto

Las membranas son el elemento que le da la estanquidad a la cubierta. Se derivan de la combinación de las láminas asfálticas y materiales auxiliares tales como: oxiasfalto e imprimación entre otros.

Existen muchos tipos de membrana sugeridas en función de la cubierta, o por la pendiente. Pero para las cubiertas ajardinadas, se recomienda la impermeabilización utilizando las siguientes membranas:

| Membrana | Uso de cubierta   | Pendiente | Protección   | Relación con el soporte |
|----------|---|-----------|--|-------------------------|
| PA-8     | No transitable<br>Transitable<br>Ajardinada                       | 0 a 15%   | Pesada<br>1 a 5% en cubiertas<br>ajardinadas                 | Adherida                |
| PA-9     | No transitable<br>Transitable<br>Ajardinada                       | 0 a 15%   | Pesada   | Adherida                |
| PN-7     | No transitable<br>Transitable<br>Ajardinada                       | 0 a 5%    | Pesada   | No adherida             |
| PN-8     | No transitable<br>Transitable (peatonal<br>privado)<br>Ajardinada | 0 a 5%    | Pesada<br>1 a 5% en cubiertas<br>ajardinadas                 | No adherida             |
| GA-1     | No transitable<br>Transitable para<br>vehículos<br>Ajardinada     | > 1%      | Autoprotección mineral<br>1 a 5% en cubiertas<br>ajardinadas | Adherida                |
| GA-2     | No transitable<br>Transitable para<br>vehículos<br>Ajardinada     | > 1%      | Autoprotección mineral<br>1 a 5% en cubiertas<br>ajardinadas | Adherida                |
| GA-6     | No transitable<br>Transitable para<br>vehículos<br>Ajardinada     | > 1%      | Autoprotección mineral<br>1 a 5% en cubiertas<br>ajardinadas | Adherida                |

Figura 73 Membranas recomendadas para cubiertas vegetales, basada en (Anon., s.f.). (EP)

### Membrana Anti raíz

Muy en particular, para la correcta impermeabilización de azoteas con un sistema naturado, se requiere que la membrana utilizada no solo proteja contra filtraciones de agua, se requiere además que las láminas sean resistentes a la perforación de raíces o microorganismos. Las de mayor utilización son las de betún modificado o sintéticas de PVC. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que el correcto funcionamiento de una u otra, no radica en el origen del material con que fueron fabricadas, sino en el conjunto de los componentes y la técnica de fabricación.

*Pero la membrana anti raíz, no es otra cosa que cobre, óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), material altamente tóxico y dañino para todos los seres vivos. Así que lo que le hace el cobre a las raíces es quemarlas, cuando estas chocan con este material dejan de crecer, evitando así que perforen el impermeabilizante. En los techos de Chicago utilizan láminas de cobre*



*machimbradas<sup>46</sup> como impermeabilizante anti raíz, incluso en colonias de la Ciudad de México como son la Cuauhtémoc y Juárez, aun se pueden ver estructuras con esta técnica, la Embajada Rusa, por ejemplo.*

*Incluso en Europa y Estados Unidos existen pinturas con base en óxido cuproso, que es muy común utilizar para pintar las macetas por dentro y así evitar el crecimiento de las raíces.*

*En conclusión, la membrana anti raíz, se puede obtener si se recubre la superficie del impermeabilizante con óxido cuproso. Se puede conseguir en membrana, agregar a la pintura o simples láminas de cobre.<sup>47</sup>*

Aunque en la actualidad, quienes instalan techos verdes ofrecen membranas que llaman “láminas ecológicas”, las cuales son prefabricadas a base de asfalto y elastómeros sintéticos, reforzada con malla de poliéster de alta resistencia y con protección contra la penetración de raíces.

También encontramos que a la membrana anti raíz la llaman “sistema de impermeabilización TPO”, sistema conjuntado con capas de geoproductos y sustrato vegetativo para la instalación de pastos, plantas y árboles sobre azoteas.

En conclusión, no se encontró que se utilice el óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) como sistema anti raíz en el impermeabilizante que ofrecen los instaladores de azoteas verde.

Mientras que para la colocación de la membrana impermeabilizante anti raíz, la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal, establece lo siguiente:

- *Estabilidad dimensional.*
- *Migración de plastificantes menor al 1% en volumen.*
- *Resistencia a la perforación por raíces.*
- *Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales.*
- *Resistencia a microorganismos.*
- *Resistencia al choque térmico y variaciones de temperatura ambiental.*
- *Resistencia al Punzonamiento. (p 20)*

<sup>46</sup> Sistema para ensamblar láminas o tablas por medio de rebajes y cortes en sus cantos, para lograr por medio de la sucesión de piezas encajadas entre sí una sola superficie lisa, uniforme y sólida.

<sup>47</sup> Información proporcionada por la Dra. Esperanza García López.

*Sí se utilizan impermeabilizantes anti-raíz de PVC, Hypalon, Propileno-Etileno o similares, el espesor mínimo será de 1.2 mm y deberá asegurarse su resistencia al punzonamiento colocándolo entre dos capas antipunzonantes.*

Como podemos observar, la norma establece las características que una membrana anti raíz debe cumplir al ser instalada y la garantía que debe ofrecer para el correcto funcionamiento, por lo que cabe señalar, que es obligación de quien diseña el espacio naturado, verificar que el sistema que se elija, cumpla con lo anterior que marca la norma.

Ya que la norma contempla la posibilidad del uso del plástico en la membrana anti raíz, no debemos dejarlo de lado, el plástico es un material muy utilizado en la construcción. Se dice que ningún otro material podrá competir con este. Algunas de las ventajas que ofrece plástico sobre otros materiales son: *rendimiento debido a su resistencia a los impactos, ligereza, duración, aislamiento, recuperación, economía y facilidad de uso.* (Briz, 2004, p. 290)

El plástico también se ha incorporado a la fórmula del asfalto proporcionado a las láminas asfálticas utilizadas en la impermeabilización mayor duración y mejores beneficios.

Directamente se fabrican láminas impermeabilizantes con el plástico, siendo estas de muy poco peso, flexibles y fáciles de instalar. Así como cualidades aislantes, inclemencias del clima y a los rayos ultravioleta.

También aportan la ventaja de permeabilidad al vapor de agua que puede formarse en el interior del edificio. Esto quiere decir que permiten que salga la humedad del edificio e impiden que penetre el agua de riego o lluvia.

El Policloruro de vinilo mejor conocido como PVC, miembro de la familia de los termoplásticos, es un polímero obtenido de las materias primas naturales que son cloruro de sodio en un mayor porcentaje y petróleo o gas natural, lo que lo convierte en el plástico de menor dependencia de los recursos no renovables.

El PVC, uno de los primeros plásticos en ser desarrollado comercialmente. El paso del monómero al polímero, es realizado a través de un proceso de polimerización, que tecnológicamente, puede ser materializado por diferentes procedimientos: suspensión, microsuspensión, masa y emulsión.

Es el polímero de mayor importancia utilizado en la construcción, debido a la calidad, seguridad y rentabilidad de los materiales utilizados en este sector.

### 5.9.2. Capa Drenante

Tanto la capa drenante como la capa filtrante, son elementos que se intercalan entre dos capas del sistema de impermeabilización para desempeñar alguna de las funciones siguientes: separar, evitar la adherencia, proteger química o físicamente y filtrar el agua. Por lo que se les denomina capas auxiliares.

No deben ser biodegradables pero deben ser compatibles con los materiales con los que estén en contacto. Es posible que una sola capa auxiliar cumpla con varias funciones. Y, aunque constituyan el verdadero soporte base de la membrana impermeabilizante, no deben designarse como soportes base para evitar confusiones.

La capa drenante tiene como función sacar el agua sobrante del sustrato vegetal, captar las precipitaciones excedentes y dirigirlas hacia los desagües, además de evitar que se pudran las raíces de las plantas y servir como protección mecánica de la cubierta. Se coloca entre la membrana impermeabilizante anti-raíz y la capa filtrante.

Tipos de capas drenantes:

- Áridos de canto rodado o de machaqueo.
- Láminas sintéticas rígidas preformadas, con protuberancias en, al menos, una de sus caras.
- Un compuesto formado por una lámina sintética rígida preformada, con protuberancias en, al menos, una de sus caras, y con un fieltro filtrante pegado a las protuberancias.
- Un compuesto formado con hilos sintéticos ensortijados, acabado por ambas caras, con un fieltro filtrante.
- Losa preformada con una capa de hormigón poroso y una base aislante apta para cubiertas invertidas. (Briz, 2004)

La Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, establece los siguientes materiales y característica para la capa drenante:

*La capa drenante debe seleccionarse de tal manera que pueda desalojar al menos una pluviometría de 2 l/min x m2 de intensidad (300 l/s xha), para ello se consideraran el tipo de*

sistema de naturación, la superficie total que cubren los desagües, la pendiente de la cubierta y la pluviometría de la zona.

En los sistemas de naturación desprovistos de capa drenante, la capa de substrato deberá ser suficientemente permeable al agua y la cubierta deberá tener la inclinación suficiente para permitir el drenado del agua excedente.

*Materiales y características para la capa drenante*

Para la conformación de la capa drenante se deberá emplear alguno de los siguientes elementos:

- Láminas de fibras sintéticas, polipropileno.
- Mallas plásticas con lámina filtrante.
- Placas drenantes de fibras textiles recicladas.
- Placas drenantes de polietileno.
- Placas drenantes de poliestireno.

O cualquier otro que demuestre cumplir con las características descritas en este apartado.

Para la capa drenante se utilizarán materiales con las características siguientes:

- Con estructura duradera y estable.
- Estabilidad de forma y función.
- Lo más ligeros posible.
- Inocuo para la vegetación (contenido en sales y en carbonatos solubles).
- Química y físicamente estables. (p 24 y p 25)

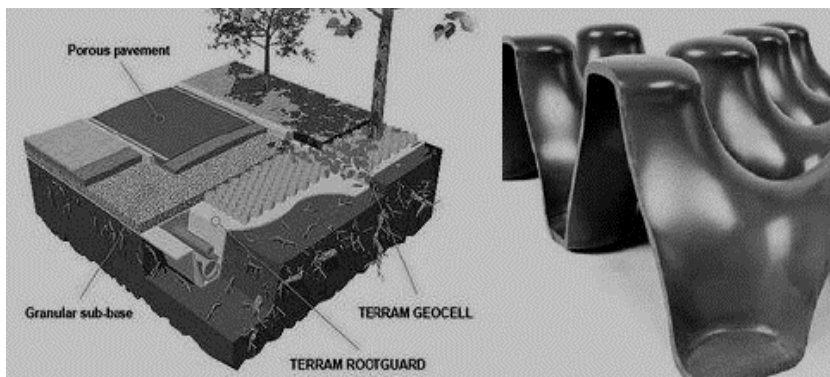


Figura 74 Capa drenante, retira el agua sobrante del sustrato vegetal.

Fuente: Fuente: <http://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/capa-drenante-3414.html>

### 5.9.3. Capa Filtrante

La capa filtrante, suele estar compuesta por fieltros sintéticos permeables. Su función es impedir que las arenas finas y otros sedimentos de la tierra vegetal penetren a la capa drenante,

tapándola y reduciendo su capacidad filtrante. Impide la lixiviación del sustrato, por lo que pierde propiedades de cara al crecimiento de la vegetación.

La Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, establece para la capa filtrante lo siguiente:

*En los sistemas de naturación para cubiertas que cuenten con capa drenante, se deberá colocar una capa filtrante entre el dren y el sustrato para evitar el paso de las partículas finas de este; las cuales podrían taponar la capa drenante.*

*Esta capa debe colocarse sobre la superficie total de la capa drenante con un traslape mínimo de 15 cm. La capa filtrante, para efectos de conformación de las distintas áreas, deberá sobresalir mínimo 10 cm por encima de la superficie del sustrato o banda lateral en el borde de la cubierta y en su encuentro con elementos emergentes. Una vez concluidos los trabajos de plantación, deberá recortarse la capa filtrante al nivel del sustrato.*

#### **Características de la capa filtrante**

- Compatible con los materiales con que esté en contacto.
- Con permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato.
- De estructura duradera y estable.
- Imputrescible.
- Permisible al crecimiento de raíces.
- Resistente a la tensión y compresión.
- Resistente a la intemperie.
- Resistente a microorganismos.
- Resistente a pH elevados.

*La capa filtrante deberá ser siempre permeable en ambos sentidos, permitiendo el paso de agua al menos en 2 l/min m<sup>2</sup> y tener un peso mínimo de 200 g/m<sup>2</sup>. En los desagües se debe utilizar una capa de menor peso, pero no inferior a los 120 g/m<sup>2</sup>. (p 25)*

#### **5.9.4. Capas Auxiliares**

Las capas auxiliares en numerosas ocasiones constituyen el verdadero soporte base de la membrana impermeabilizante, pero para evitarnos confusiones, se denominan así, auxiliares. Se intercalan entre las capas de la impermeabilización para cumplir las funciones de: separar, evitar la adherencia, proteger química o físicamente, etc. No deben ser biodegradables pero

deben ser de materiales compatibles con los que estarán en contacto. En ocasiones una sola capa auxiliar cumple varias funciones. Ver Figura 75.

| Capa Auxiliar                | Aplicación  |
|------------------------------|---|
| Antipunzonante <sup>48</sup> | Cuando exista riesgo de incompatibilidad física, para proteger de daños mecánicos a la barrera contra vapor o a la membrana impermeabilizante.  |
| Antiadherente                | Cuando se requiera evitar que dos elementos del sistema de impermeabilización se adhieran.<br>Proporciona flexibilidad a la capa impermeabilizante en caso de que se separen los elementos de esta. Ya que elemento se mueve independientemente.  |
| Separadora                   | Cuando se necesite evitar el contacto entre dos elementos químicamente incompatibles.<br>Impidiendo que una de las capas se vea alterada por la acción negativa de la otra con la que no es compatible. En el caso de utilizar PVC, evita pérdida de plastificantes de la lámina.<br>La pérdida de plastificantes se produce cuando la lámina alcanza una temperatura determinada y, al mismo tiempo, está en contacto con materiales incompatibles. (espumas de polietileno, productos bituminosos, sedimentos de tierra, polvo, grava sucia, etc.). |
| Aislamiento Térmico          | Esta capa debe colocarse cuando lo especifique la normatividad vigente concerniente a condiciones térmicas en los edificios.<br>En climas fríos.  |

Figura 75 Capas auxiliares para la protección de la capa impermeabilizante anti-raíz<sup>49</sup>

La utilización de capas auxiliares en el sistema de naturación, permite cumplir con lo estipulado en la Norma de Naturación NADF-013-RNAT-2017, punto 8.7, que lista las condiciones particulares que las membranas impermeabilizantes anti-raíz para sistemas de naturación deberán cumplir:

## 5.10. Mantenimiento

Entiéndase como mantenimiento, *al conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente*, según el Diccionario de la Lengua Española.

<sup>48</sup> Punzonamiento. Esfuerzo producido por tracciones en una pieza debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón, alrededor de su soporte.

<sup>49</sup> Información de la UNE 104-416 00, Norma a probada por la "Asociación Española de Normalización y Certificación" (AENOR).

Sin embargo, las labores determinadas a la preservación no son necesarias para todas las plantas por igual, por lo que la utilización y las posibilidades de mecanización son muy diversas.

En la actualidad, la tecnología nos brinda la posibilidad de emplear la herramienta propia para cada una de los trabajos necesarios en la jardinería, incluso en la agricultura. Y muy en particular en el tema que nos ocupa, la vegetación en los espacios naturados.

Los trabajos de mantenimiento mecanizados implican menor tiempo de dedicación, reducción en el esfuerzo físico, mayor productividad, perfección y rapidez comparado como lo hiciera la mano del hombre. Traduciéndose en menor costo y mayor productividad. Pero la intervención manual sigue siendo de gran importancia en gran parte de las tareas de mantenimiento, muy en particular para llevar a cabo el mantenimiento de la vegetación en las azoteas.

Para el correcto mantenimiento de la vegetación, se deben tomar en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Riego
- Poda
- Control de plantas no deseadas
- Control de plagas y enfermedades

La norma indica que: *para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de naturación y la máxima vida útil del mismo, una vez construido, se deben realizar trabajos de inspección y mantenimiento periódicos. Para la realización de dichos trabajos es recomendable establecer un plan y un calendario de trabajo que considere los siguientes rubros: (p 29 y p 30)*

- *Operación y mantenimiento de elementos constructivos*
- *Operación y mantenimiento de vegetación*
- *Riego*
- *Abonado y adición de substrato*
- *Control de plagas y enfermedades*

#### 5.10.1. El riego

*“El agua es vital para las plantas. Las plantas absorben el agua y los minerales disueltos en el suelo. Sin humedad suficiente en el suelo, las plantas no podrán obtener los elementos*

*esenciales. Pero por otra parte, un exceso de agua en la zona de desarrollo de las raíces, también puede resultar dañino". (Lilly, 1999)*

Lo primero que se debe considerar en el mantenimiento del sistema de riego de una zona verde, es la necesidad de contar con un plano que contenga los elementos, sectores de riego y las especificaciones del tamaño de tuberías, salidas y presiones del funcionamiento del sistema. Dicho de otra manera, el agua se debe suministrar en cantidades y horarios adecuados mediante sistemas de riego específicos. (Lilly, 1999)

El riego de cualquier espacio naturado debe estar basado en un programa anual calculado en las condiciones climáticas de la localidad, así como de las necesidades de las plantas, especie y tamaño. Por lo que los datos de precipitación pluvial y de evapotranspiración son indispensables. Al programa anual de riego se le debe complementar con las características de cada zona, tales como, vientos dominantes, su dirección, frecuencia y velocidad y el efecto oasis, muy frecuente en los jardines urbanos. Se trata de una evaporación producida en espacios reducidos que se encuentran en medio del asfalto, provocando que se calienten más, generando mayor consumo de agua.

Aunque el agua de lluvia sea insuficiente para el riego, el cual debe ser modificado durante y después de la época de lluvias, esto para cuidar la imagen y evitar la sensación de derroche de agua que se pueda crear en los observadores. (Falcón, 2007)

El uso adecuado del agua debe tomar en cuenta los siguientes elementos:

- Necesidades de las plantas
- Relación de las plantas con el suelo
- Frecuencia
- Horario
- Duración
- Conservación
- Forma de aplicación
- Técnicas adecuadas de drenaje.



El riego es indispensable para todos los jardines urbanos, pero, fundamentalmente para los que cuentan con pasto, cuyas necesidades de agua diarias suelen ser de 5 l/m<sup>2</sup> y hasta 12 litros, dependiendo del clima de la zona.

De manera general y en caso de no disponer de los datos del proyecto para riego, se recomienda un riego de 40 minutos por aspersión, de 15 minutos con difusores y de 30 minutos por goteo cada dos días. Los árboles se regarán una vez por semana. (Falcón, 2007)

### **Maquinaria**

El contador de agua es el elemento principal que indica cómo está funcionando el sistema de riego. También se puede utilizar el manómetro para obtener información al momento. Se deben comprobar los sensores de humedad y/o de viento, aproximadamente tres veces al año. Mientras que el contador debe ser controlado cada mes en primavera y verano, y cada dos meses en invierno y otoño. Dependiendo de la calidad del agua, los filtros se deben limpiar manualmente. Se puede tomar en cuenta que un filtro no debe ocasionar una pérdida de presión superior a 5m<sup>2</sup> de agua.

En caso de no contar con un sistema de riego y se decida que este deba ser manual, se debe tomar en cuenta un espacio para almacenamiento de agua. Para estos espacios se requiere un área de 6 a 12m<sup>2</sup> y, por lo general, una bomba de impulsión con una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de 50 l/min.

### **Aplicaciones y rendimientos**

Como recomendaciones generales, se pueden tomar en cuenta lo siguiente: el consumo de agua será de un tercio del total en primavera y de dos tercios en verano, por lo que el programa de riego deberá cambiarse como mínimo cuatro veces al año. En invierno y en otoño, el consumo de agua es casi nulo, y si existiera riesgo de heladas debe tomarse la precaución de vaciar el espacio de almacenamiento de agua. En las zonas templadas se recomienda un riego al mes para mantener y comprobar el sistema. (Falcón, 2007)

### **Las plantas, el suelo y los requerimientos de agua**

*Cuando la pérdida de agua por transpiración excede la capacidad de las plantas para obtener agua del suelo, éstas se marchitan.* (Lilly, 1999)

Cuándo se presentan periodos prolongados de sequía, las plantas no solo se marchitan, sino que, pierden hojas, crecen hojas modificadas e incluso pueden aumentar la producción de raíces absorbentes. En periodos de extrema sequía se pueden perder la mayoría de las raíces y la muerte de la planta.

La cantidad de agua de que dispone el suelo para las plantas, varía de acuerdo al tipo de este. Los suelos que son arcillosos tienden a retener más agua que los arenosos. Por lo que los suelos arenosos requieren de mayor riego constante. Y debido a que los suelos arcillosos tienen una capacidad de infiltración mucho menor, el riego debe ser lento y los periodos alargados.

La función básica del riego es proporcionar el agua necesaria al suelo para devolver la que la planta consume. Para el caso del sistema de naturación, es devolver el agua al sustrato. Si el riego no es adecuado se puede presentar lo que se muestra en la siguiente Figura:

| Tipo de Riego en base a la cantidad de agua | Riesgo                                      | Consecuencia  |
|---|---|---|
| Frecuente y somero                          | Aparición de raíces superficiales           | Plantas más vulnerables a la desecación durante los periodos de sequia          |
| Profundo y poco frecuente                   | Producción de un sistema de raíces profundo | Plantas con mayor tolerancia a la sequia  |
| Superficial y frecuente                     | Raíces superficiales                        | Compacta la superficie del suelo y reduce la velocidad de infiltración de agua. |

Figura 76 Tipos de Riego en base a la cantidad de agua, basada en (Lilly, 1999). (EP)

### Métodos de riego

- Aspersión
- Goteo
- Riego mínimo
- Empleo de inyección a alta presión
- Empleo de mangueras de absorción
- Empleo de cuencas de irrigación

Existe además el método por inundación, es el más sencillo y no se requieren utilizar bombas, pero si mucha agua y es de poca eficiencia, por lo que no se tomará en cuenta como posible método de riego a utilizar.

El riego por aspersión actualmente es el que más se usa para regar las plantas de ornato. El agua es distribuida por los aspersores uniformemente sobre el área naturada. Se considera apropiado el uso de aspersores cuya cabeza dirija una mínima cantidad de agua; lo que reducirá la propagación de hongos, así como el daño a los tejidos blandos de las plantas. Un inconveniente de este método de riego es que se genera una mayor compactación del terreno, al golpear el agua con el suelo, los agregados se dispersan. Pudiendo representar un problema cuando el volumen de agua durante el riego resulte excesivo para ser absorbido por el suelo, provocando abundantes escurrimientos. Las costras<sup>50</sup> y la erosión del suelo causados por el riego por aspersión se pueden minimizar con la utilización de mulch. Una manera de disminuir la acumulación de sales, es reduciendo la frecuencia de riego y aumentar su duración. El agua debe penetrar el sustrato hasta lo más profundo para que la mayoría de las sales conducidas por el agua, permanezcan lo más cerca de la superficie.

Teniendo dentro de este método, dos tipos de aspersores:

| Tipo            | Subtipo                          | Uso  | Características  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|
| Carros de riego | Riego con rollo para la manguera | Para cubrir áreas muy extensas                                     | Garantizan que cada metro cuadrado de terreno reciba una cantidad mínima de agua. Se requiere el uso de muchos aspersores  |
|                 | Sistema de riego por pivot       | Para áreas de más de una hectárea y en terrenos totalmente llanos. | El tipo más flexible. Suele ser una lanza de riego   |
|                 | Sistemas de riego paralelos      | Para zonas Rectangulares y terrenos planos.                        | Gira alrededor del punto central y puede tener un diámetro de hasta 2 km. Disponibles con uno o dos brazos. Garantizan una cantidad de agua uniforme por m2. Más eficaces cuando es necesario regar cada metro cuadrado. Fáciles de trasladar. |

Figura 77 Tipos de aspersores, basada en (Falcón, 2007). (EP)

Un inconveniente de los aspersores fijos, es que no distribuyen el agua de manera uniforme por la zona a regar.

El riego por goteo es empleado para reducir el desperdicio de agua, ya que permite una mejor filtración con una menor pérdida por evaporación. El agua se suministra en lapsos largos y

<sup>50</sup> Lámina fina sobre la superficie del suelo que ha perdido gran parte de su porosidad y que alcanza un espesor aproximado de unos 0.5 a 2 cm de espesor, que se puede doblar sobre sí misma.

lentamente. Los aspersores necesitan estar distribuidos en toda la zona de raíces. Se debe tomar en cuenta que estos, se pueden obstruir fácilmente, por lo que se debe revisar el sistema de manera regular para su adecuado funcionamiento.

Algunos métodos de riego emplean inyección a alta presión, mangueras de absorción y cuencas de irrigación. Por lo general estas técnicas se utilizan para arboles apartados o para áreas pequeñas.

La inyección a alta presión lleva agua hasta la profundidad en donde se encuentran las raíces, pero también se pueden desviar las raíces que absorben el agua a nivel de suelo.

Las mangueras de absorción son movibles y tienen la cualidad de distribuir el agua de manera lenta, sobre todo, en donde se tengan problemas de escurrimiento.

El riego mínimo es importante de considerar debido a la escasez de agua en muchas zonas del país. Está diseñado para nutrir a las plantas en las épocas de poca lluvia. En ocasiones el riego puede ser suficiente con tan solo uno o dos riegos durante el crecimiento.

A continuación, podemos ver los tipos de riego, su uso y sus características.

| Tipo de riego                   | Uso   | Características  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>Aspersión</b>                | Plantas ornamentales  | Distribuye el agua de manera uniforme en toda la superficie plantada                   |
| <b>Goteo</b>                    | Reducir el desperdicio de agua                              | Permite una mayor absorción con una menor pérdida por evaporación                      |
| <b>Inyección a alta presión</b> | Árboles aislados en el paisaje<br>Áreas pequeñas            | Llevar agua a una profundidad considerable.  |
| <b>Mangueras de absorción</b>   | Dónde el escurrimiento represente un problema               | Suministran el agua lentamente. Son movibles   |
| <b>Riego mínimo</b>             | Para mantener las plantas durante periodos de lluvia escasa | Consiste de tan solo uno o dos riegos suplementarios durante una época de crecimiento. |

Figura 78 Tipos de Riego, basada en (Falcón, 2007). (EP)

### 5.10.2. La poda

A pesar de que la poda es un cuidado esencial de las especies leñosas, también se lleva a cabo en plantas vivaces<sup>51</sup> y anuales<sup>52</sup>. La poda consiste en retirar las ramas y ocasionalmente las raíces, asegurando así su equilibrio.

La poda implica una agresión a la planta, por lo que no debe ser en exceso. El objetivo básico es mantener forma y volumen de la planta, también puede ser utilizada para: eliminar partes muertas o enfermas, mantener un equilibrio entre la parte exterior y la subterránea, y por último, para estimular al máximo la producción de hojas, flores o frutos. La poda solo se justifica en los años de crecimiento y la configuración de la planta, de lo contrario, se presentan problemas adicionales.

Lo ideal es que la poda se limite a la etapa de formación y de mantenimiento.

### 5.10.3. Control de plagas

Se debe tomar en cuenta para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas.

Una plaga es cualquier especie, raza o biotipo de planta, animal o agente patógeno que daña las plantas. Estos organismos invasores al alimentarse y pasar una etapa de su ciclo de vida en las plantas, les producen daño que requiere de una técnica de control.

Es importante considerar que siempre existirán insectos, hongos, moluscos, etc., en donde haya vegetación. Pero solo se considera plaga, cuando se ve afectada la economía o la función de la vegetación, es decir, que estos agentes patógenos, frenan el desarrollo y producción de las plantas modificando aspecto e imagen, así como su colorido y forma.

No obstante que las plantas de ornamento son las más afectadas por las plagas, se debe de planificar el control de estas desde la concepción del área a naturalizar con cualquier especie de planta.

Para prevenir y combatir de forma segura, ya sea la invasión de plagas y enfermedades, se debe conocer la causa, ya que son de diversa naturaleza y a pesar de existir mucha información al respecto, aún hay muchas causas desconocidas.

<sup>51</sup> Son plantas herbáceas (no leñosas) que cuando llega el frío del invierno se secan sus tallos y hojas pero sus raíces siguen vivas bajo tierra y en primavera, vuelven a brotar.

<sup>52</sup> Plantas anuales. Son aquellas que solo viven una temporada o periodo vegetativo. Crecen rápidamente y tienen una duración muy corta. La mayoría nacen, crecen y florecen durante la primavera y el verano. Producen sus frutos a finales del verano u otoño. Así, pueden dispersar sus semillas antes de que se puedan recoger los frutos de las plantaciones donde crecen. Asegurando su continuidad para el siguiente año.

Se puede decir que de forma general, hay dos factores de daño a las plantas y son: bióticos<sup>53</sup> y abióticos<sup>54</sup>. Ver la siguiente figura.

|                           |                       |   |          |   |
|---------------------------|-----------------------|---|----------|---|
| <b>Factores bióticos</b>  | • Virus               |   |          |   |
|                           | • Bacterias           |   |          |   |
|                           | • Hongos              |   |          |   |
|                           | • Plantas superiores* |   |          |   |
|                           | • Animales            | Nemátodos   |          | Vermes  |
|                           |                       | Moluscos  |          | Caracoles   |
|                           |                       | Artrópodos  | Acari    | • Araña roja  |
|                           |                       |   | Insectos | Homópteros.<br>• Pulgones<br>• Escamas<br>• Piojos<br>• Harinosos         |
|                           |                       |   |          | Ortópteros<br>• Tijereta<br>• Saltamontes                                 |
|                           |                       |   |          | Tisanópteros<br>• Trips   |
|                           |                       |   |          | Lepidópteros<br>• Mariposas<br>• Palomillas<br>(dañinos en fase de larva) |
|                           |                       |   |          | Dípteros<br>• Moscas<br>• Mosquitos<br>(dañinos en fase de larva)         |
|                           |                       |   |          | Coleópteros<br>• Gallinas ciegas  |
|                           |                       |   |          | Himenópteros<br>• Avispas<br>• Hormigas                                   |
|                           |                       |   |          | Hemípteros<br>• Chinchas  |
| <b>Factores abióticos</b> | • Climáticos          | La alteración de las condiciones climáticas como son los elementos, temperatura y/o humedad, provocan una aceleración en el ciclo de reproducción de los organismos, especialmente patógenos transformándolos en plaga. |          |   |
|                           | • De presión          | La sequía, la compactación del suelo, los daños mecánicos, la falta de nutrientes, la contaminación, etc., que debilitan a la planta y propician el ataque.   |          |   |

Figura 79 Factores dañinos para la vegetación. Bióticos y Abióticos, basada en (López, et al., 2000). (EP)

<sup>53</sup> De los organismos vivos o relacionado con ellos.

<sup>54</sup> Que no permite que haya vida.

(factor no biológico). Que es fundamental en un ecosistema e influye en los seres vivos.

## Imágenes de factores dañinos para la vegetación. Bióticos y Abióticos



Figura 80 Factores bióticos y abióticos de daño a la vegetación

### Control de plantas no deseadas (plantas superiores)

Las malas hierbas son las que no tienen un desempeño en el proyecto de un área verde. Su aparición está ligada al nivel de fertilidad del suelo, usualmente crecen espontáneamente compitiendo con la vegetación planificada. La aparición de estas hierbas es muy común, siendo un problema que requiere ser tratado de forma continua. Las malas hierbas provocan en los cultivos una sensación de descuido. Además de que no son compatibles con la vegetación a cultivar y absorben los nutrientes y el agua de riego de la plantación programada. Por lo que se les denomina, planta parásita, hemiparásita, semiparásita o invasora. Ver Figura 81.

| Tipo                                   | Característica   | Ejemplo   |
|--|--|---|
| Parásita                               | Viven a expensas de otras de las que toman agua, elementos minerales e hidrocarburos. Sin clorofila. | Cuscutas. Género de aproximadamente 170 especies.   |
| Hemiparásita                           | Viven a expensas de otras de las que toman agua, elementos minerales e hidrocarburos. Con clorofila. | Muérdagos. Básicamente en las copas de los árboles. |
| Semiparásita o invasora. Malas hierbas | No tienen capacidad de parasitar, pero compiten por la luz, el agua y los minerales.                 |   |

Figura 81 Tipos de plantas no deseadas. (Villalba, 2005, p. 26)

El uso de los productos químicos para su erradicación no es recomendado, debido a que todas las plantas son susceptibles a los herbicidas, y ni que decir de los seres vivos, el uso está aún más limitado a causa de las posibles consecuencias negativas. Por lo que se realiza de forma manual.

### La fumigación

El control de plagas se puede realizar de dos formas, preventivo y correctivo. El preventivo se refiere al manejo adecuado de la vegetación, es decir, la plantación, selección y mezcla de especies, mantenimiento adecuado (todo lo que este implica, poda, riego, etc.). El correctivo se refiere al control de la plaga cuando esta ya está presente y puede ser: mecánico, físico, biológico, químico y legal.

**Mecánico.** Se refiere directamente a la extracción de la planta si está muy dañada, si no es así, se retiran únicamente las partes dañadas. O directamente acciones al suelo, remoción, retiro de malezas.

**Físico.** Aplicación de trampas de luz.



**Biológico.** Utilización de variedades resistentes, introducción de depredadores naturales como las catarinitas o avispidas.

**Químico.** Empleo de productos químicos nocivos a las plagas y enfermedades de las plantas. Que tienen acción negativa sobre estas.

**Legal.** Uso de semillas legalizadas y/o certificadas, ya que se encuentran libres de plagas y enfermedades.

Que si desde un principio se plantan semillas certificadas, esta acción legal seria un control preventivo y no correctivo.

Si ya es inevitable la utilización de productos químicos, se recomienda que se haga al atardecer, debido a que las larvas son de hábitos nocturnos, pero siempre hay que tener en cuenta que mientras más se fumigue más se daña el jardín, muchas veces es recomendable permitir que este encuentre su equilibrio natural, porque dentro de este hay organismos que controlen otros organismos, cuando se fumiga recurrentemente no solo se mata al insecto sino con él a la fauna que también beneficia a las plantas. Los fertilizantes químicos pueden influenciar de manera drástica el balance de elementos nutricionales en las plantas, lo cual a su vez reduce la resistencia a insectos plaga.

Para llevar a cabo la fumigación, existe una amplia variedad de productos químicos para realizarla en función del organismo a controlar.

### **Plaguicidas**

- **Fungicidas y bactericidas**
- **Insecticidas**

Son los de mayor demanda por el gran número de insectos que afectan a las plantas. Los insecticidas, sustancias químicas de origen mineral, vegetal u orgánico que tienen la capacidad de acabar con los insectos en un breve lapso de tiempo.

Es importante mencionar que los hongos se pueden prevenir, tomando en cuenta lo siguiente: Las herramientas de jardinería transmiten los hongos de un jardín a otro, por lo que es indispensable limpiarla con cloro y agua, después se aceitan para evitar que se oxiden. Los hongos tienen tendencia a atacar las hojas, los frutos, las ramas y la base del tallo principal. Empezando a notarse manchas, perforaciones, deformaciones y polvos blancos.

Hay hongos que atacan las raíces de las plantas, como la *Phytophthora*, causante de la muerte de céspedes y coníferas o el *Pythium*, que provoca la muerte de las plántulas<sup>55</sup> recién germinadas. Los hongos se diseminan a través del viento mediante sus esporas (órganos reproductores). Su desarrollo se ve favorecido por las condiciones de clima y de cultivo y suelen ser comunes en plantas poco adaptadas al entorno en el que viven. Las más corrientes son el oídio, el mildiu<sup>56</sup>, la roya y la podredumbre gris. El desarrollo de los hongos está favorecido por el ambiente húmedo. Por ello, para prevenirlos se debe favorecer la ventilación alrededor de las plantas, evitar los excesos de agua y no mojar las hojas. También se recomienda escoger las especies más resistentes y, en caso de trabajar con especies sensibles a un hongo, no hay que esperar a que éste se manifieste, por lo que se debe prevenir tratándolo con de contacto.<sup>57</sup>

---

<sup>55</sup> Plantita recién nacida proveniente de semilla.

<sup>56</sup> Conjunto de enfermedades de las plantas producidas por un hongo microscópico que ataca a los órganos verdes, como las hojas, el tallo o los frutos.

<sup>57</sup> Apuntes tomados de la clase de Vegetación impartida por la Dra. Esperanza García López. Junio 02, 2011.

## Capítulo 6

---

### 6. Estudio de caso

Debido a que el presente trabajo se orienta a la comprensión del proceso de diseño, desarrollo, implementación y mantenimiento de un espacio naturado, se opta por aplicar la estrategia de investigación a través de estudio de caso.

Teniendo como objetivo general, la elaboración de un modelo para la implementación de un sistema de naturación en las azoteas planas derivado de la investigación sistémica, y muy en particular, explorar e identificar los fundamentos teóricos y tecnológicos acerca de los sistemas de naturación que proporcionen el conocimiento necesario para poder diseñar, desarrollar, implementar y operar una herramienta para el diseño de estos sistemas de naturación en las azoteas.

Hay varias maneras de definir el concepto de investigación empírica<sup>58</sup>, la cual, según Bisquerra *et al.* (2004), se basa en la observación y la experimentación.

Existen tres estrategias empíricas que son: experimento, estudio de caso y encuesta. Para el presente trabajo, se aplicó la siguiente:

| Estrategia             | Descripción  |
|------------------------|--|
| <b>Estudio de caso</b> | <b>Una investigación detallada de un solo caso</b> o de un número de casos relacionados. Una investigación de este tipo está orientada a la comprensión en profundidad de un objeto, hecho, proceso o acontecimiento en su contexto natural. <sup>59</sup> |

Los estudios de caso, se pueden definir como estudios que al emplear los procesos de investigación cuantitativa, cualitativa o mixta; analizan profundamente una unidad para responder al planteamiento de un problema.

Motivo por el cual no hay hipótesis, sin embargo, del estudio se desprenden líneas futuras de investigación. En las conclusiones se deberán proponer problemas específicos que podrán estudiarse en el futuro acerca del diseño de espacios naturados.

<sup>58</sup> Experimental, práctico, material, efectivo, real, concreto, probado

<sup>59</sup> Tesis de doctorado: Estudio teórico y evidencia empírica de la aplicación del marco teórico de "Cognición Distribuida" en la gestión de sistemas de formación e-Learning. Autor: Ferruzca Navarro, Marco Vinicio.

Es relevante resaltar él porque es un modelo conceptual metodológico MCM y no una metodología. Después de una revisión de metodologías de diseño bioclimático, se encontraron las siguientes coincidencias y diferencias.

#### **Coincidencias entre una metodología de diseño y el MCM:**

- Llegar a un objetivo.
- Manejo de variables de varios tipos (Social, económico, normativo ambiental y tecnológico).
- La convergencia de varias disciplinas, como son: arquitectura, ingeniería, biología, etc.
- Al igual que la metodología de diseño que propone el Dr. David Morillón, el MCM se presenta a través de un esquema general.

#### **Diferencias entre una metodología de diseño y el MCM:**

- El MCM no establece interrelaciones entre los componentes, por lo que no se llamará metodología, que es susceptible de llegar a hacerlo, en el caso de continuar trabajando y desarrollando el MCM.
- En una metodología lo más importante es el proceso de investigación que los resultados.

El objetivo del presente capítulo, es presentar el proyecto de azoteas verdes que realizó el Estudio de Arquitectura “*Nosotros Tierra*”, solicitado por la Rectoría de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco a través de la Comisión del PIHASU<sup>60</sup>, como el estudio de caso por medio del cual se identificaron los elementos que intervienen en el diseño, desarrollo e implementación de espacios naturados.

A continuación se presenta un check list (lista de control), que muestra los elementos contenidos en el proyecto de azotea verde propuesto por “*Nosotros Tierra*”.

Posteriormente, en el mismo proyecto de azoteas verdes se aplicará el MCM, que es el resultado del estudio teórico del presente trabajo, como una herramienta que facilitara el conocimiento necesario para poder diseñar, desarrollar e implementar los sistemas de naturación en los espacios propuestos.

<sup>60</sup> Plan Institucional hacia la Sustentabilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

| Elemento                    | Proyecto UAM | Modelo Conceptual Metodológico MCM |
|-----------------------------|--------------|------------------------------------|
| Análisis estructural        | ✓            | ✓                                  |
| Aceptación                  | ✓            | ✓                                  |
| Función                     | ✓            | ✓                                  |
| Revisión de la normatividad |              | ✓                                  |
| Análisis bioclimático       |              | ✓                                  |
| Selección de vegetación     | ✓            | ✓                                  |
| Selección de sustrato       | ✓            | ✓                                  |
| Sistema                     |              | ✓                                  |
| Programa de mantenimiento   |              | ✓                                  |
| Costos                      | ✓            | ✓                                  |
| Instalación                 | ✓            | ✓                                  |
| Incentivos                  |              | ✓                                  |
| Concientización             |              | ✓                                  |

A continuación, se describe el proyecto que elaboró el Estudio de Arquitectura “Nosotros Tierra”: Bajo la supervisión de la Comisión del PIHASU y quien facilitó el proyecto para su utilización en el presente trabajo.

## 6.1. Descripción del Proyecto

A continuación se describe el proyecto que presentó “Nosotros Terra”:

*Se pretende desarrollar un proyecto demostrativo de azoteas vivas en la Unidad, dirigido a los alumnos de las Licenciaturas de Arquitectura, Ingeniería Civil y Posgrado de Arquitectura del Paisaje, con la finalidad de dar a conocer cómo conformar un modelo de azoteas vivas con un gran impacto visual.*

*La Comisión del PIHASU, propuso en coordinación con el Estudio de Arquitectura los espacios posibles de naturalar, y que su desarrollo sería en dos etapas y quedando de la siguiente manera:*

*Etapas 1: Cubo de escaleras del edificio J y Terrazas de los edificios HP y HO.*

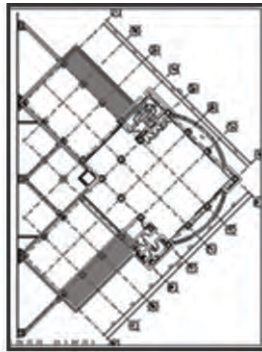
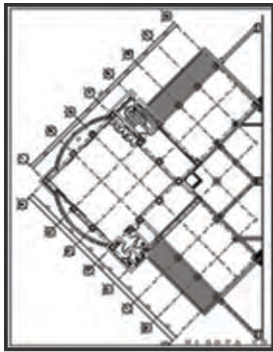
*Etapas 2: Planta de emergencia y Terraza Oriente de las escaleras del edificio T.*

*Para el presente caso de estudio, se decide optar por las Terrazas de los edificios HO y HP, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, ubicada en Av. San Pablo 180, colonia Reynosa Tamaulipas C.P. 02200, Delegación Azcapotzalco.*

### Ubicación de espacios



Figura 82 Croquis de la Unidad Azcapotzalco para ubicación de espacios a naturalar

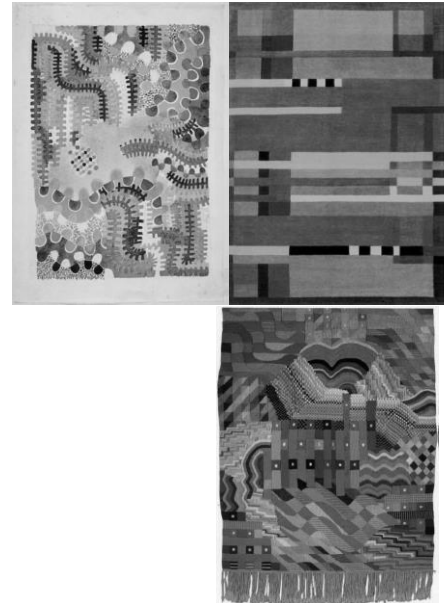


*Terrazas de los edificios HP y HO. 25m<sup>2</sup> por terraza (dos terrazas por edificio).*



*El Estudio de Arquitectura propone que para el concepto de diseño de los espacios a naturar, se integren a la Bauhaus recreando los Textiles de Gunta Stölzl<sup>61</sup>*

- *Recuperando los métodos artesanales en la actividad constructiva*
- *Simplicidad y repetición en el diseño*
- *Ligereza en la estructura*
- *Funcional y de carácter industrial*



<sup>61</sup> Gunta Stölzl (5 de marzo 1897-22 de abril de 1983) fue una artista alemana especializada en el arte textil que jugó un papel fundamental en el desarrollo del taller de tejidos de la Escuela Bauhaus. Generó un gran cambio logrando que obras pictóricas individuales se convirtieran en modernos diseños industriales.



## 6.2. Modelo Conceptual Metodológico (MCM)

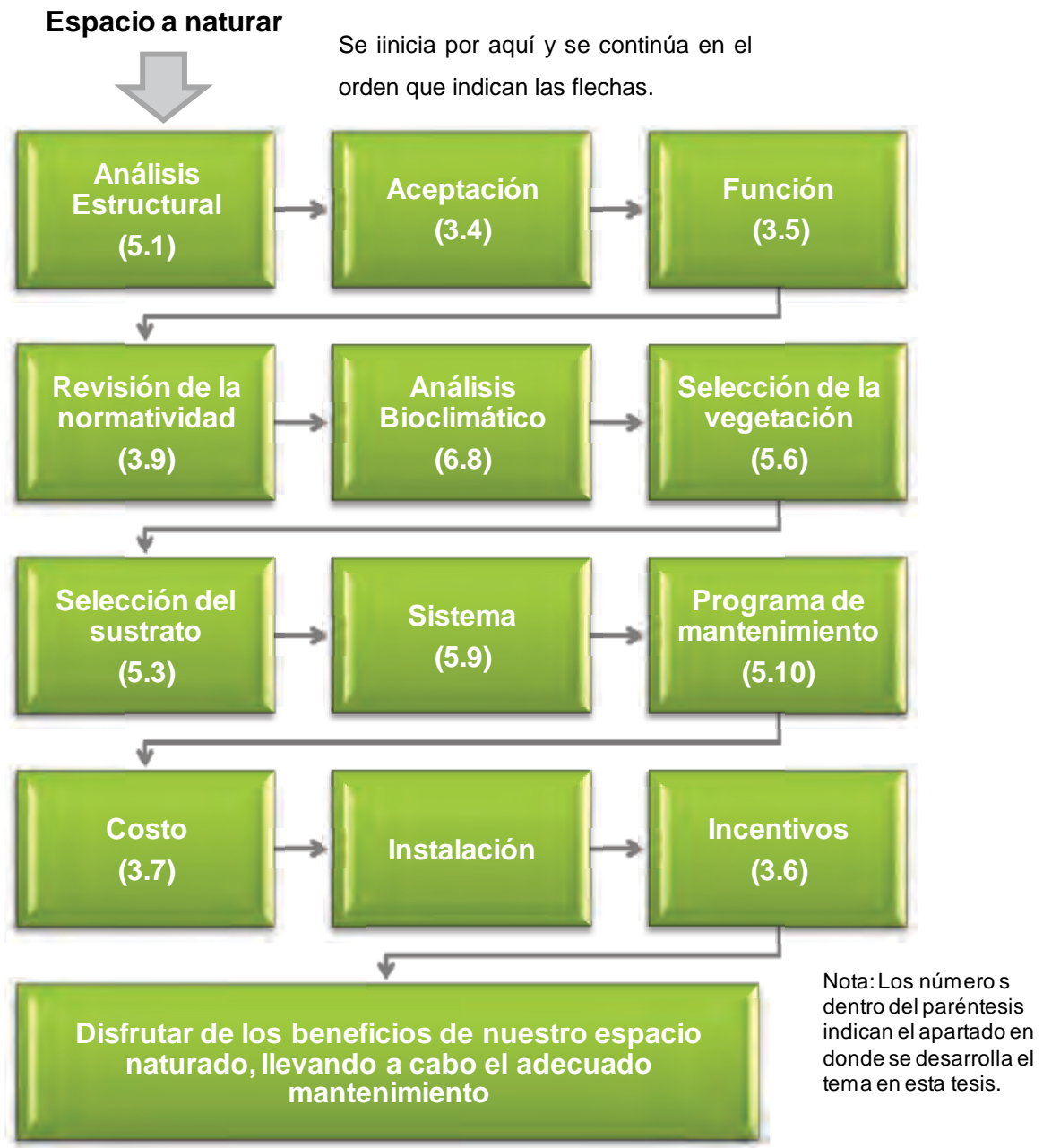


Figura 83 Modelo Conceptual Metodológico MCM, para la implementación de un sistema de naturación en una azotea. (EP)

### 6.3. Espacio a naturar

A continuación se presenta el proyecto de azoteas verdes aplicando el MCM, resultado del presente trabajo:

Proyecto de azotea verde en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. La Universidad, en su compromiso de contribuir de forma efectiva a la construcción de una sociedad justa, equitativa, respetuosa del ambiente, que aporte al desarrollo económico del país; esto sólo podrá lograrse de manera efectiva si asume el reto de orientarse hacia la sustentabilidad, el elemento integrador de todo lo anterior. Para ello, se constituyó un grupo de trabajo con el fin de integrar el documento que permitiese sentar las bases para la construcción de una UAM-A sustentable.

En México, la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) tomó la iniciativa de promover el desarrollo sustentable. Desde 1999 la ANUIES propuso integrar el desarrollo sustentable en la agenda de las Instituciones de Educación Superior (IES), y en 2000 publicó el Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable de las IES<sup>62</sup>. Durante el desarrollo del Plan la ANUIES definió una visión para el año 2020, y llevó a cabo una investigación sobre el estado del desarrollo sustentable en la educación superior en ese momento<sup>62</sup>.

En la Universidad Autónoma Metropolitana el compromiso se atendió mediante la conformación de un grupo de trabajo en el que participaron representantes de las cuatro unidades académicas. El grupo desarrolló un documento en el cual se establece el marco general para avanzar hacia la meta de ser una universidad sustentable<sup>63</sup>.

En la Unidad Azcapotzalco, existe una Comisión del Plan Institucional hacia la Sustentabilidad integrada por profesores-investigadores de la tres Divisiones, Ciencias Básicas e Ingeniería, Ciencias Sociales y Humanidades y Ciencias y Artes para el Diseño.

Durante la Gestión 2009-2013, la Rectoría propuso la realización del proyecto de Azoteas Verdes a través de la Comisión, el cual fue asignado al Estudio de Arquitectura “Nosotros Tierra”.<sup>64</sup>

<sup>62</sup> Resumen Ejecutivo PIHASU

<sup>63</sup> Universidad Autónoma Metropolitana (2006). *Plan Institucional Hacia la Sustentabilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana*. México, D. F., 57 pp.

<sup>64</sup> Estudio de arquitectura del paisaje y ecología urbana que diseñó el modelo de desarrollo para el siglo XXI denominado INFRAESTRUCTURA VIVA.

## 6.4. Análisis Estructural

Con los planos estructurales de los edificios HO y HP, se solicitó el análisis estructural a un DRO como lo indica la Norma, quien entregó una Memoria Descriptiva del Análisis y Revisión de los edificios. El objetivo del análisis es determinar si la estructura resiste la carga muerta adicional del sistema naturado, que para este caso se elige la azotea de tipo semi-intensivo, es decir:

- Carga adicional 250Kg/m<sup>2</sup>
- Parcialmente accesible
- Diversidad de vegetación y elementos construidos
- Áreas de extensión media ciertos usos, dificultad para reemplazar
- Diversidad estética y biodiversidad media
- Mantenimiento medio

La evaluación estructural se realizó considerando un edificio de tres niveles más planta baja con altura entre losas de 3.25 m, planta de forma irregular. La estructura es a base de losas de 15 cm de espesor apoyadas sobre trabes principales de 60x30 cm y secundarias de 45x20 cm en ambos sentidos, apoyadas sobre columnas de 70x70 cm. Toda la estructura fue resuelta a base de concreto armado con una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, la cimentación es a base de un cajón estanco desplantado a 2.5 m hacia abajo.

Realizado el análisis de la estructura con la nueva disposición de cargas, para una estructura con un espacio naturado se concluye lo siguiente:

- *Las losas no presentan deformaciones que pongan en riesgo su estabilidad estructural.*
- *Trabes en azotea cuentan con el armado adecuado al requerido para una nueva losa con azoteas verdes.*
- *Las columnas presentan **deficiencia en su capacidad por lo que no se consideran adecuadas para la nueva propuesta de azoteas verdes.***
- *Desplazamientos laterales el edificio se encuentra dentro de los rangos establecidos por el reglamento de construcciones vigente del Distrito Federal. (Anexo 2).*

Sin embargo, consideraremos que se hará el reforzamiento en las columnas, lo que permitirá la implementación del sistema, por lo tanto, continuaremos con el proceso.

La revisión de la Norma nos facilita el entendimiento del sistema constructivo. Es una guía con especificaciones técnicas para la implementación de sistemas naturados y contempla:

- Ámbito de validez
- Referencias
- Información previa requerida
- Especificaciones generales
- Especificaciones técnicas del proyecto
- Ejecución
- Especificaciones de operación
- Mantenimiento

El punto 3.8 del Capítulo 3 de esta tesis, contiene un extracto de la Norma para una revisión rápida. Es importante saber que esto nos ayudará a tener un mínimo de calidad, seguridad y bienestar en la implementación.

### 6.5. Aceptación

*La Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, tiene el compromiso de contribuir de forma efectiva a la construcción de una sociedad justa, equitativa, respetuosa del ambiente, que aporte al desarrollo económico del país; esto sólo podrá lograrse de manera efectiva si asume el reto de orientarse hacia la sustentabilidad.*<sup>65</sup> En este sentido, la UAM-A toma la decisión de implementar sistemas de naturación, cuenta con el personal académico y administrativo con los conocimientos necesarios y la disposición que se requieren para la instalación de un sistema de naturación, como son el diseño, la supervisión, la ejecución y el mantenimiento. Logrando además con la instalación de un sistema así, la interdisciplinaridad.

Aunado a esto, se realizará una campaña de concientización para lograr no solo la aceptación, si no la apropiación de los espacios naturados, logrando la responsabilidad del cuidado de estos, por parte de la comunidad universitaria.

A continuación, se describe la propuesta de la “Campaña de Concientización”.

1. Temática
  - Introducción a las azoteas verdes. Historia, beneficios y aplicación de técnicas.
2. Población beneficiada

<sup>65</sup> Resumen Ejecutivo del Plan Institucional hacia la Sustentabilidad 2009-2014.

- a. Estudiantes de las diferentes Licenciaturas, preferentemente con conocimientos básicos de diseño, sistemas constructivos y normatividad para la construcción.
- 3. Objetivos de la campaña
  - a. Sensibilizar sobre los beneficios que aportan las azoteas verdes a través de la difusión del conocimiento de sus fundamentos
  - b. Despertar el interés de futuros profesionales para incluir sistemas de naturación en proyectos arquitectónicos al presentarles un caso de aplicación práctica del MCM, resultado de esta tesis.
  - c. Promover la participación de la comunidad universitaria en el mantenimiento y monitoreo de la azotea verde de la UAM Azcapotzalco
- 4. Medios y estrategias:
  - a) Difusión en la Página web, Agenda cultural, Semanario, y Carteles informativos.
  - b) Plática de inducción de 40 min., en la que se presentarán los principales conceptos y tecnologías relacionadas con las azotas verdes
  - c) Presentación y análisis de caso: Proyecto demostrativo de azoteas verdes de la UAM Azcapotzalco, aplicando el Modelo Conceptual Metodológico, MCM para el diseño, implementación, operación y mantenimiento de las azoteas verdes. Con video explicativo de 5 minutos que muestran las etapas de construcción de la azotea verde.
  - d) Visita guiada de 25 minutos al espacio naturado.
  - e) Plenaria de 30 minutos, en donde se comparten las experiencias, se platica sobre posibles aplicaciones y se responde a preguntas de los asistentes
  - f) La evaluación la realizan los facilitadores durante la plenaria tomando en cuenta:
    - i. Nivel de participación en la plenaria
    - ii. Especificidad de las preguntas que realiza la audiencia
    - iii. Claridad de las respuestas presentadas por la audiencia
  - Duración del evento/ciclo 100 minutos.
- 5. Campaña
  - a. La campaña se llevaría a cabo en las instalaciones de la UAM Azcapotzalco
    - Auditorio “Incalli Ixcahuicopa”
    - Dentro del marco del mes de la sustentabilidad
    - 3 ciclos durante un día lectivo
    - Se sugiere que en cada ciclo participen entre 10 y 15 personas

## 6. Evaluación de la campaña

### a. Durante el trimestre:

Encuestas entre profesores ¿se incluyeron azoteas verdes en los proyectos de los estudiantes que participaron?

### b. Durante y después del trimestre:

¿Hubo solicitudes para hacer visitas posteriores?

¿Se han propuesto candidatos para participar en el mantenimiento de la azotea verde?

¿Ha habido nuevas iniciativas por parte de estudiantes para otros proyectos?

¿Se han hecho solicitudes de información a los expositores?

## 6.6. Función

La función es fundamentalmente el motivo por el cual se está instalando el sistema de naturación, que puede ser desde simple estética hasta con fines terapéuticos, siendo la función quien da la pauta para el diseño y con ello, si se requiere mantenimiento y la programación de este.

Para este proyecto en particular, la función del sistema será ambiental, estético, recreativo, sociópeto y educativo/didáctico. Y por el uso que se le dará a la azotea será de tipo Semi-intensivo, que es básicamente la combinación entre un jardín de azotea y la naturación de una cubierta, con algunos usos en menor medida. Por lo que será visitada, no de estancia prolongada, pero si se deberán tomar en cuenta circulaciones, mobiliario complementario y accesos para el mantenimiento.

Cabe mencionar, que el objetivo general de la construcción de una serie de azoteas verdes demostrativas dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, es ubicar a la Universidad como una de las Instituciones Educativas Públicas que incluye la aplicación de temas acerca de la sustentabilidad que se discuten a nivel nacional por la SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

La revisión de la normatividad se llevó a cabo en el punto 3.8 de la presente tesis, la norma no contempla específicamente el aspecto de la función pero si podemos considerar el punto 8.3.de

la norma *“Parámetros para cada tipo de naturación: Una cubierta naturada deberá ajustarse a alguno de los parámetros siguientes según el tipo de naturación que se desee construir (extensiva, semi-intensiva o intensiva).”*

### 6.7. Análisis Climático

El conocimiento del clima es primordial para determinar las estrategias de diseño bioclimático de las construcciones, pero para la implementación de un sistema de naturación no es necesario realizar un análisis bioclimático completo, sin embargo, si se debe conocer el tipo de clima en el que se está proponiendo el sistema.

A continuación, se llevará a cabo un análisis climático como ejercicio y con la finalidad de poder ser utilizado en caso de ser necesario para futuros proyectos. Para la implementación de nuestro sistema de naturación, se tomara en cuenta del análisis la temperatura, viento, humedad, radiación y fenómenos especiales como son las sequias y granizadas básicamente. Cabe mencionar que la Norma de naturación<sup>66</sup> nos indica que se debe contar con la información previa a la planeación y/o proyecto de: *“Altitud y la orientación de la superficie a naturar en relación al asoleamiento y vientos dominante”*.

El conocimiento de estos elementos climáticos nos ayudará en varios aspectos relacionados con el diseño de azotea vegetada que se pueden resumir en los siguientes:

- Definir el tipo de sustrato a utilizar dependiendo de que tanto se necesite aislamiento térmico.
- Elegir la vegetación a utilizar según el clima (húmedo, seco o árido).
- Determinar el riego según cada caso.
- Definir si es necesario cubrir toda el área de cubierta o si es mejor realizarla por partes, según sean las necesidades de aislamiento en cada caso.

El Análisis Climático se realizó utilizando la hoja de cálculo diseñada por el Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet y los datos climatológicos obtenidos de la EMA (Estación de Monitoreo Ambiental) 00009003 Aquiles Serdán 46. Latitud 19°28' 10" y una Altitud de 2,255 MSNM. Siendo ésta, la estación más cercana a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, donde se ubica el proyecto de azoteas verdes.

Aplicando dicha metodología, se obtienen los resultados que a continuación se analizarán.

<sup>66</sup> Norma de naturación NADF-013RNAT-207 para el Distrito Federal.

## Datos Climáticos

|              |  |               |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|---------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Azcapotzalco |  |               | 1951-2010 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CLIMA        |  | Cb w/(w)/(f)g |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BIOCLIMA     |  | SEMI-FRÍO     |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| LATITUD      |  | 19° 28'       |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| LONGITUD     |  | 99° 11'       |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ALTITUD      |  | 2255 msnm     |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tabla de Datos Climáticos

| fte                  | PARAMETROS               | U    | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   | ANUAL   |
|----------------------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| TEMPERATURAS         |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| A                    | MAXIMA EXTREMA           | °C   | 32.0  | 34.0  | 34.0  | 36.0  | 34.5  | 33.5  | 29.0  | 29.5  | 30.0  | 31.5  | 32.0  | 30.0  | 36.0    |
| A                    | MAXIMA                   | °C   | 22.5  | 24.5  | 27.0  | 27.9  | 27.5  | 26.8  | 24.5  | 24.6  | 23.9  | 23.8  | 23.5  | 22.3  | 24.8    |
| A                    | MEDIA                    | °C   | 13.7  | 15.3  | 17.8  | 19.2  | 19.6  | 19.3  | 18.2  | 18.2  | 17.8  | 16.9  | 15.4  | 14.2  | 17.1    |
| A                    | MINIMA                   | °C   | 4.9   | 6.1   | 8.6   | 10.5  | 11.7  | 12.7  | 11.9  | 11.9  | 11.8  | 10.0  | 7.4   | 6.0   | 9.5     |
| A                    | MINIMA EXTREMA           | °C   | -6.0  | -4.0  | 0.0   | 2.5   | 2.5   | 7.5   | 7.5   | 7.0   | 5.0   | 1.0   | -2.0  | -2.5  | -6.0    |
| D                    | OSCILACION               | °C   | 17.6  | 18.4  | 18.4  | 17.4  | 15.8  | 13.1  | 12.6  | 12.7  | 12.1  | 13.8  | 16.1  | 16.3  | 15.4    |
| HUMEDAD              |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| A                    | TEMP BULBO HUMEDO        | °C   | 9.2   | 10.47 | 12.49 | 13.94 | 14.72 | 15.18 | 14.28 | 14.28 | 14.06 | 12.72 | 10.95 | 9.93  | 12.7    |
| D                    | H.R. MAXIMA              | %    | 78    | 77    | 76    | 78    | 81    | 86    | 86    | 86    | 87    | 83    | 80    | 80    | 81.4    |
| A                    | H.R. MEDIA               | %    | 54    | 54    | 53    | 55    | 59    | 64    | 65    | 65    | 66    | 61    | 57    | 57    | 59.2    |
| D                    | H.R. MINIMA              | %    | 31    | 30    | 30    | 32    | 36    | 43    | 44    | 44    | 45    | 40    | 34    | 34    | 37.0    |
| A                    | TENSION DE VAPOR         | mb   | 1.5   | 1.7   | 2     | 2.2   | 2.2   | 2.2   | 2     | 2     | 2     | 1.9   | 1.7   | 1.6   | 1.9     |
| E                    | EVAPORACION              | mm   | 99.6  | 129   | 181.3 | 180.8 | 179.7 | 159.3 | 142.5 | 145.7 | 127   | 125.2 | 102.9 | 91.7  | 1,664.7 |
| PRESION              |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| A                    | MEDIA                    | hp   | 852   | 931   | 1075  | 1223  | 1336  | 1442  | 1358  | 1358  | 1348  | 1183  | 1001  | 927   | 1,169.5 |
| PRECIPITACION        |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| A                    | MEDIA                    | mm   | 10.7  | 6.2   | 12.2  | 30.1  | 61.4  | 140.7 | 151.6 | 153.0 | 120.6 | 56.6  | 9.1   | 7.3   | 759.5   |
| A                    | MAXIMA                   | mm   | 102.8 | 30.7  | 57.0  | 105.8 | 163.8 | 350.7 | 323.5 | 306.1 | 266.7 | 204.1 | 70.2  | 43.2  | 350.7   |
| A                    | MAXIMA EN 24 HRS.        | mm   | 34.4  | 21.7  | 30.3  | 46.2  | 56.0  | 57.8  | 51.2  | 70.6  | 60.5  | 51.8  | 23.4  | 21.8  | 70.6    |
| A                    | MAXIMA EN 1 HR.          | mm   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.0     |
| A                    | MINIMA                   | mm   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.0     |
| RADIACION SOLAR      |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| B                    | RADIACION MAXIMA TOTAL   | W/m2 | 645.0 | 748.0 | 797.0 | 750.0 | 718.0 | 632.0 | 617.0 | 636.0 | 637.0 | 628.0 | 610.0 | 571.0 | 665.8   |
| B                    | RADIACION MAXIMA DIRECTA | W/m2 | 474.0 | 572.0 | 603.0 | 534.0 | 489.0 | 406.0 | 389.0 | 408.0 | 416.0 | 424.0 | 428.0 | 396.0 | 461.6   |
| D                    | RADIACION MAXIMA DIFUSA  | W/m2 | 171.0 | 176.0 | 194.0 | 216.0 | 229.0 | 226.0 | 228.0 | 228.0 | 221.0 | 204.0 | 182.0 | 175.0 | 204.2   |
| A                    | INSOLACION TOTAL         | hr   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.0     |
| FENOMENOS ESPECIALES |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| A                    | LLUVIA APRECIABLE        | dias | 2.20  | 2.60  | 3.70  | 7.70  | 12.80 | 17.60 | 21.90 | 20.80 | 16.50 | 9.30  | 3.50  | 2.40  | 121.00  |
| A                    | LLUVIA INAPRECIABLE      | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | DIAS DESPEJADOS          | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | MEDIO NUBLADOS           | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | DIAS NUBLADOS            | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | DIAS CON ROCIO           | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | DIAS CON GRANIZO         | dias | 0.00  | 0.10  | 0.20  | 0.20  | 0.40  | 0.50  | 0.80  | 0.90  | 0.40  | 0.20  | 0.00  | 0.00  | 3.70    |
| A                    | DIAS CON HELADAS         | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | DIAS CON TEMP ELEC.      | dias | 0.30  | 0.20  | 0.30  | 0.60  | 2.00  | 2.70  | 3.30  | 3.60  | 2.40  | 1.20  | 0.20  | 0.20  | 17.00   |
| A                    | DIAS CON NIEBLA          | dias | 2.70  | 2.00  | 1.50  | 2.30  | 3.50  | 3.90  | 5.10  | 4.80  | 4.30  | 3.00  | 2.00  | 2.10  | 37.20   |
| A                    | DIAS CON NEVADA          | dias | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00    |
| A                    | VISIBILIDAD DOMINANTE    | m    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       |
| VIENTO               |                          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |
| C                    | DIRECCION DOMINANTE      |      | E     | E     | O     | NE    | N     | N     | NO    | NO    | N     | NO    | N     | NE    | N       |
| C                    | VELOCIDAD MEDIA          | m/s  | 0.7   | 0.9   | 1.9   | 0.9   | 1.2   | 1.1   | 0.9   | 0.9   | 0.8   | 1.0   | 0.9   | 0.8   | 1.0     |
| C                    | VELOCIDAD MAXIMA         | m/s  | 1.8   | 2.4   | 1.9   | 1.5   | 1.2   | 1.3   | 1.4   | 1.1   | 0.9   | 1.0   | 1.5   | 2.3   | 2.4     |

**Figura 84 Datos climáticos normativos e ingresados en la hoja de cálculo desarrollada por el Dr. Víctor Fuentes Freixanet, para el periodo de 1980-2010.**

Los datos climáticos muestran un bioclima semifrío, con una temperatura media anual de 17.1° y una humedad relativa promedio anual de 59%, lo que indica un clima relativamente benévolo respecto a la temperatura y confortable respecto a la humedad, con una precipitación media anual de 795 mm. y una radiación solar bastante alta que pudiera ser aprovechada. Figura 84.

Los fenómenos especiales se limitan a lluvia apreciable, granizo, tormentas eléctricas y niebla, no se presentan fenómenos extremos como heladas o nieve.



## Clasificación Climática:

### Clasificación de climas según el sistema modificado KÖPPEN-GARCÍA

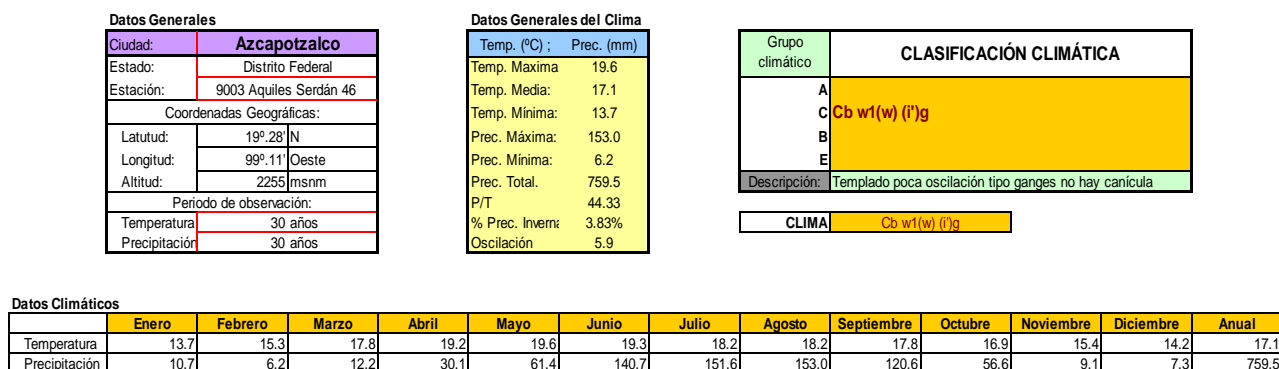


Figura 85 Clasificación del clima según Köppen modificado por E. García.

La clasificación climática según Köppen-García es Cbw1(w)(i')g, que indica un clima templado con poca oscilación, tipo Ganges y no hay canícula. Ver Figura 85.

Esto nos indica que en términos generales es un clima benéfico, con temperaturas agradables para el ser humano y sin grandes oscilaciones durante todo el año, presenta las temperaturas más altas antes del solsticio de verano y tiene un determinado y continuo período húmedo al año.

### Gráficas climatológicas:

Las gráficas climatológicas que a continuación se describen, se obtuvieron del Análisis Climático utilizando la hoja de cálculo diseñada por el Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet, con ellas se puede visualizar de una forma sencilla la trayectoria de los diferentes fenómenos durante todo el año. Esto nos ayudará a comprender el desempeño climático de la zona y a crear estrategias que nos ayuden a utilizar adecuadamente las estrategias de confort en cada caso.

Para el presente estudio las más relevantes estarán relacionadas con la temperatura, humedad, precipitación y radiación, puesto que son las que afectan a la edificación a través de la cubierta.

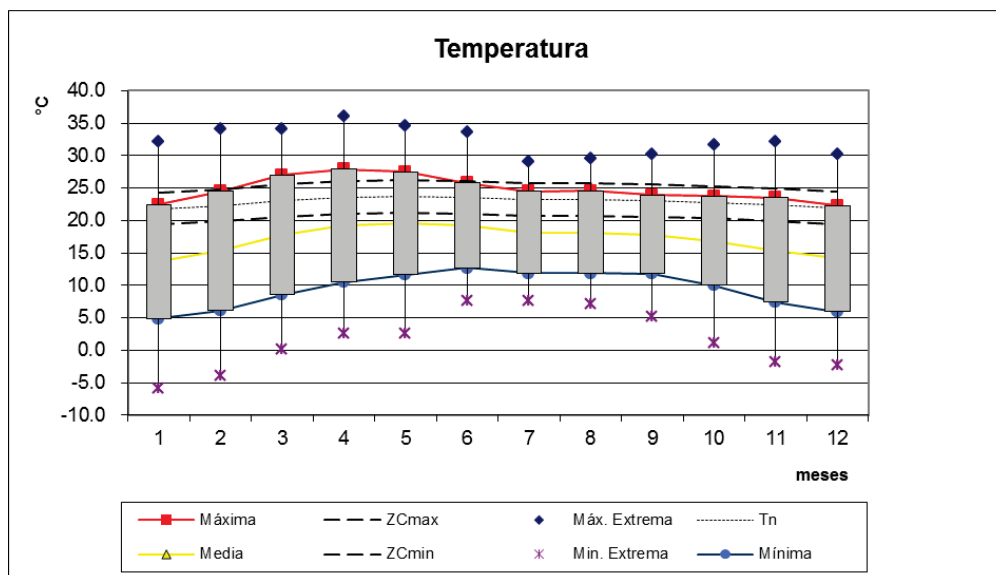


Figura 86. Gráfica de Temperatura para la zona de estudio.

La gráfica de temperatura (Figura 86), nos muestra el desarrollo de la misma durante todo el año, se comprueba por ejemplo que las temperaturas mínimas se presentan durante todo el año por debajo de la zona de confort, mientras que las temperaturas altas en la mayor parte del año están dentro de la zona de confort, exceptuando los meses de marzo, abril y mayo, durante los cuales las temperaturas máximas están ligeramente por encima de la zona de confort.

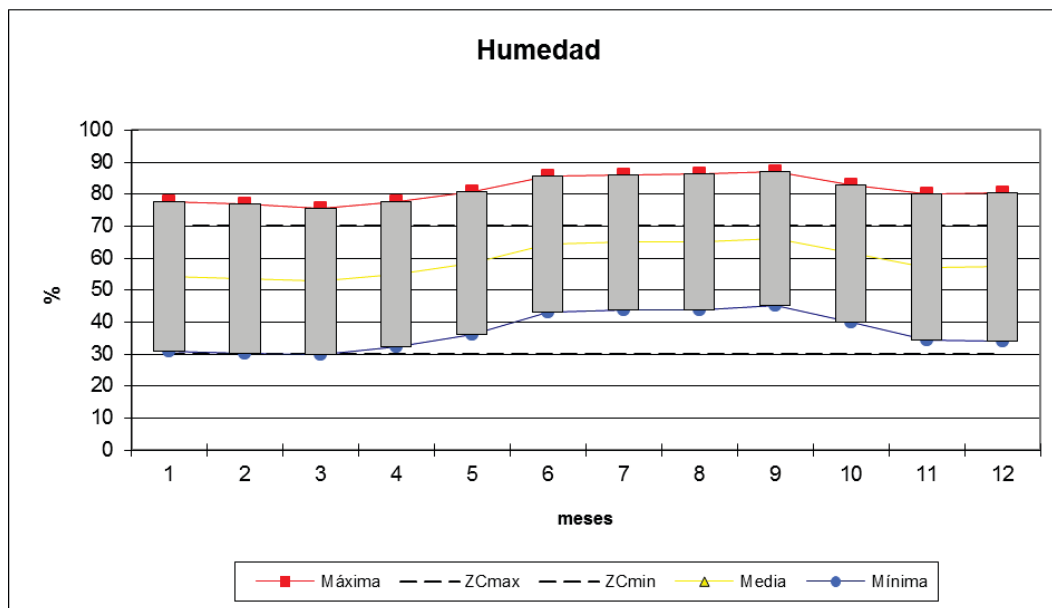


Figura 87. Gráfica de Humedad para la zona de estudio.

La gráfica de humedad (Figura 87), muestra claramente que la mayor parte del tiempo se está dentro de la zona de confort de humedad, excepto en las madrugadas de todo el año, momento en el cual se presenta una humedad excesiva en relación con la de la época de lluvia, muestra una tendencia a alcanzar un 90% de humedad.

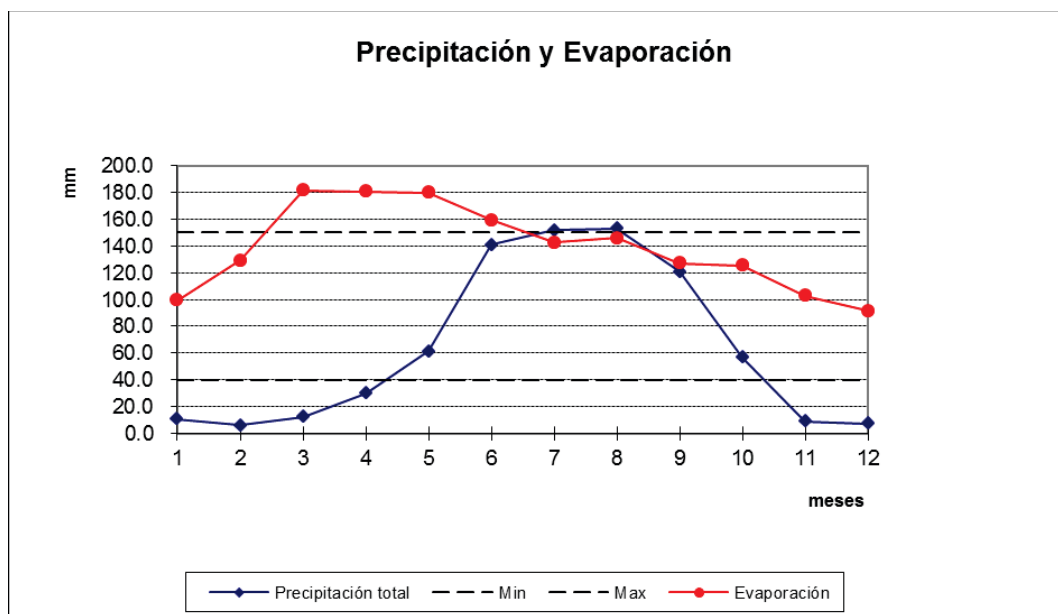


Figura 88. Gráficas de Precipitación y evaporación para la zona de estudio.

La gráfica de precipitación y evaporación (Figura 88), nos muestra los momentos del año en los que hay riesgo de mayor pérdida de agua por evaporación, momento que coincide con la época más seca y más cálida del año,

La precipitación permite que elijamos la época más adecuada para generar una zona vegetada y aprovechemos el agua de lluvia para el riego natural de la misma, de tal forma que la vegetación se adapte al sitio elegido naturalmente, esta gráfica también nos ayuda a elegir el tipo de vegetación más adecuada según el clima, si es o no lluvioso y los períodos secos del año.

Algo similar podemos lograr con la gráfica del índice ombrotérmico (Figura 89), la cual relaciona la temperatura con la precipitación, de tal manera que conozcamos las épocas más secas del año y las más húmedas, permitiendo optimizar los tiempos de sembrado y de cosecha (si fuera

el caso) y permitiendo calcular el tiempo en el cual se necesitará agua adicional para evitar la sequía y la aridez de las zonas vegetadas.

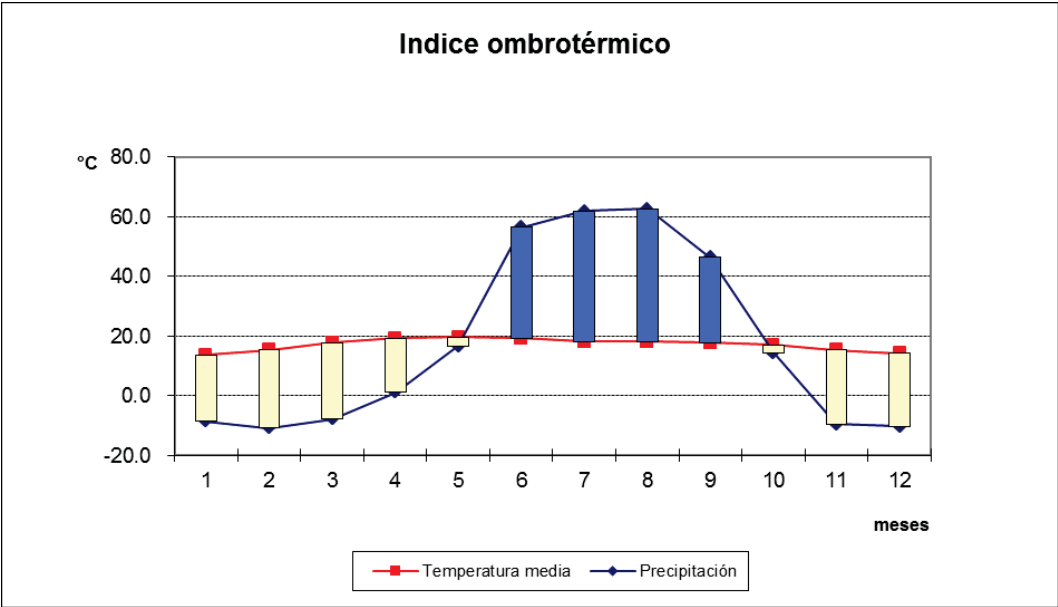


Figura 89. Índice ombrotérmico para la zona de estudio.

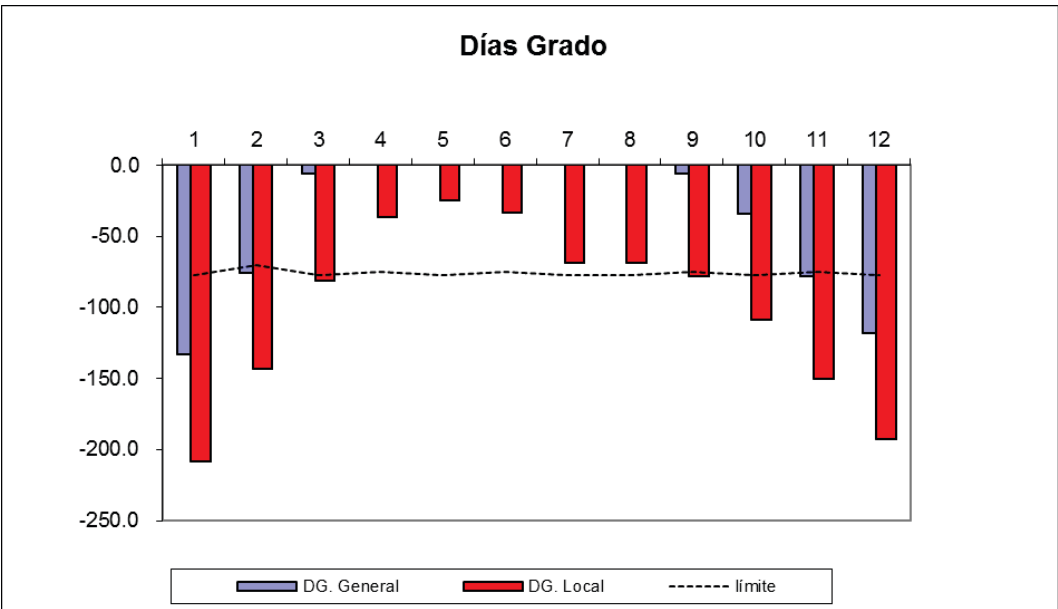


Figura 90. Gráfica de Días grado donde se muestran los requerimientos de calentamiento y enfriamiento para la zona de estudio.

Por su parte, la gráfica de días grado (Figura 91), nos permite conocer los requerimientos de calentamiento y/o de enfriamiento que la zona de estudio necesite, en el caso del presente análisis, nos permite conocer que se requiere de calentamiento durante todo el año, por lo que debemos evitar la pérdida de calor a través de la cubierta.

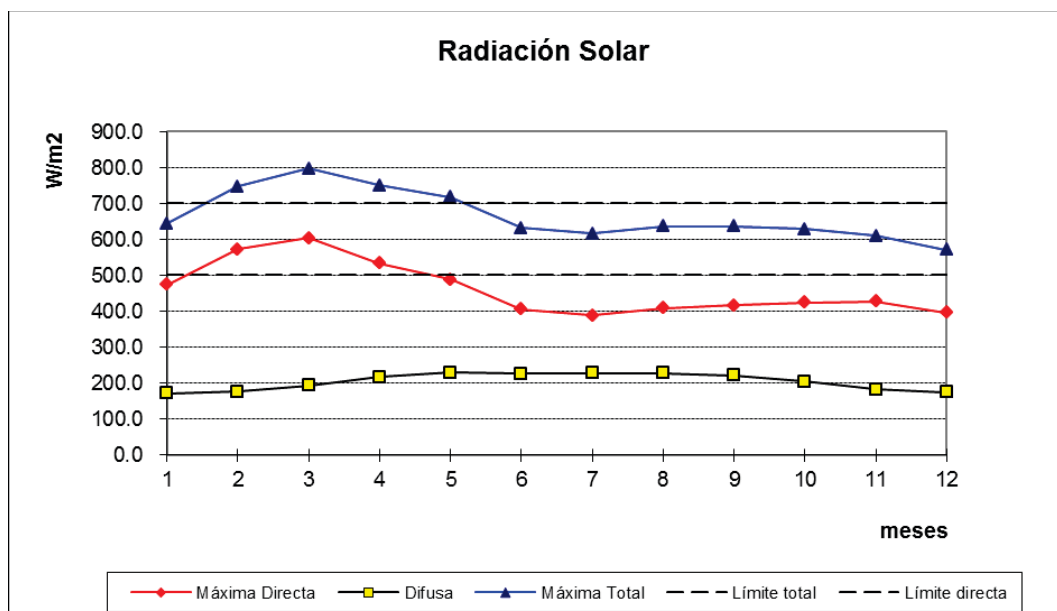


Figura 91. Gráficas de Radiación Solar para la zona de estudio.

La radiación solar suele ser mayor en las zonas de altura y menor en las zonas más bajas o zonas que presentan mucha nubosidad a lo largo del año. Ver Figura 91.

Por esta razón, es importante conocer los niveles de radiación a los que expondremos a las plantas puesto que en ningún momento éstas se beneficiaran de sombra, es necesario que sean plantas acostumbradas a los niveles de radiación de la zona específica donde se implementará el espacio naturado.

Finalmente, es importante conocer el comportamiento del viento, dado que la vegetación estará constantemente vulnerable a la acción del aire, es necesario conocer las características del mismo en las diferentes épocas del año, tanto en lo que se refiere velocidad, como intensidad y dirección. Ver Figura 92.

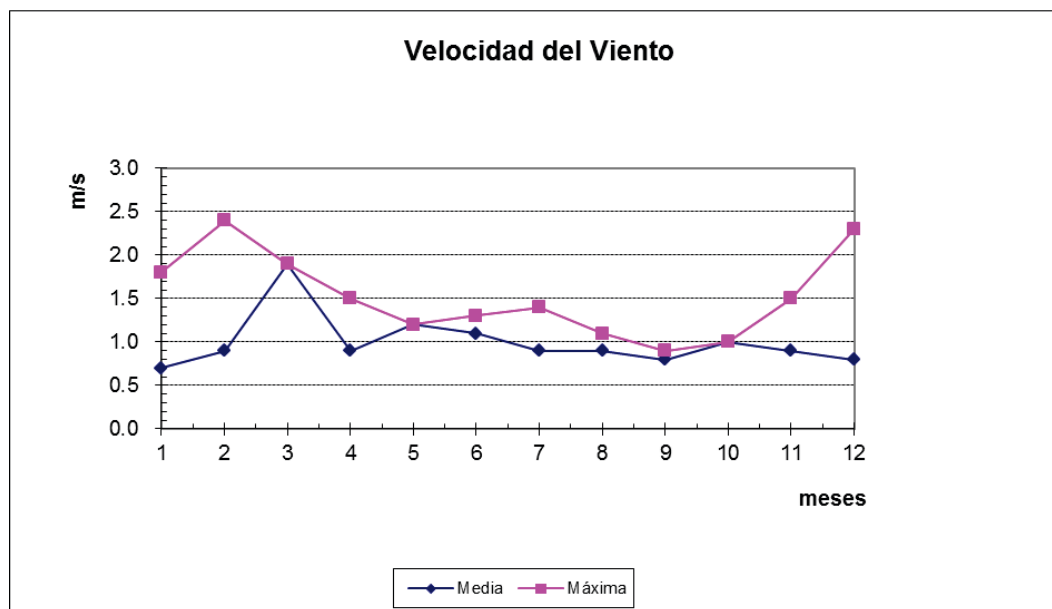


Figura 92. Gráfica de la velocidad del viento para la zona de estudio.

Es importante contar con las gráficas climatológicas pues éstas nos muestran el desarrollo climático normalizado de un año típico, de esta manera y en relación al objetivo del presente proyecto se contarán con más elementos que nos permitan tomar las decisiones adecuadas relacionadas con la implementación del sistema naturado.

Con el objeto de obtener una apreciación gráfica de los fenómenos climáticos de la zona de estudio, a continuación se colocarán las gráficas climatológicas obtenidas con la misma metodología:

### Confort térmico

#### Gráfica de temperatura horaria:

La gráfica de la temperatura horaria está relacionada con la zona de confort térmico, la misma que depende a su vez de la Temperatura neutra, que para el caso de estudio es de  $22.9^{\circ}$ , según el método Fanger o estático, el elegido para realizar el presente estudio, la zona de confort se ubica entre el margen establecido por la adición y sustracción de  $2.5^{\circ}$  a la temperatura neutra ( $T_n + 2.5^{\circ}$ ,  $T_n - 2.5^{\circ}$ ) lo cual limita la zona de confort a las temperaturas comprendidas entre  $20.4^{\circ}$  y  $25.4^{\circ}$ . Ver Figura 93.

|                 |  |  |  |                    |  |  |  |         |  |  |  |                         |  |  |  |
|-----------------|--|--|--|--------------------|--|--|--|---------|--|--|--|-------------------------|--|--|--|
|                 |  |  |  |                    |  |  |  |         |  |  |  |                         |  |  |  |
|                 |  |  |  | <b>TEMPERATURA</b> |  |  |  |         |  |  |  | <b>HUMEDAD RELATIVA</b> |  |  |  |
|                 |  |  |  | Más de             |  |  |  | 25.4    |  |  |  | Más de                  |  |  |  |
| <b>Tn= 22.9</b> |  |  |  | de 20.4 a          |  |  |  | 25.4    |  |  |  | de 30 a                 |  |  |  |
|                 |  |  |  | Menos de           |  |  |  | 20.4    |  |  |  | Menos de                |  |  |  |
|                 |  |  |  |                    |  |  |  | CONFORT |  |  |  |                         |  |  |  |
|                 |  |  |  |                    |  |  |  |         |  |  |  |                         |  |  |  |

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>TEMPERATURA</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| 9.3                | 7.8  | 6.6  | 5.7  | 5.1  | 4.9  | 5.4  | 7.0  | 9.3  | 12.2 | 15.2 | 18.1 | 20.4 | 22.0 | 22.5 | 22.3 | 21.7 | 20.8 | 19.6 | 18.1 | 16.4 | 14.6 | 12.8 | 11.0 |
| 10.7               | 9.1  | 7.9  | 6.9  | 6.3  | 6.1  | 6.7  | 8.3  | 10.7 | 13.7 | 16.9 | 19.9 | 22.3 | 23.9 | 24.5 | 24.3 | 23.7 | 22.7 | 21.5 | 19.9 | 18.1 | 16.3 | 14.3 | 12.5 |
| 13.2               | 11.6 | 10.4 | 9.4  | 8.8  | 8.6  | 9.2  | 10.8 | 13.2 | 16.2 | 19.4 | 22.4 | 24.8 | 26.4 | 27.0 | 26.8 | 26.2 | 25.2 | 24.0 | 22.4 | 20.6 | 18.8 | 16.8 | 15.0 |
| 14.9               | 13.4 | 12.2 | 11.3 | 10.7 | 10.5 | 11.0 | 12.5 | 14.8 | 17.7 | 20.7 | 23.5 | 25.9 | 27.4 | 27.9 | 27.7 | 27.1 | 26.2 | 25.0 | 23.6 | 21.9 | 20.1 | 18.3 | 16.5 |
| 15.7               | 14.3 | 13.2 | 12.4 | 11.9 | 11.7 | 12.2 | 13.5 | 15.6 | 18.2 | 21.0 | 23.5 | 25.7 | 27.0 | 27.5 | 27.3 | 26.8 | 26.0 | 24.9 | 23.6 | 22.0 | 20.4 | 18.8 | 17.2 |
| 16.0               | 14.9 | 14.0 | 13.3 | 12.8 | 12.7 | 13.1 | 14.3 | 16.0 | 18.2 | 20.5 | 22.6 | 24.3 | 25.4 | 25.8 | 25.7 | 25.2 | 24.6 | 23.7 | 22.6 | 21.4 | 20.1 | 18.7 | 17.3 |
| 15.1               | 14.0 | 13.1 | 12.4 | 12.0 | 11.9 | 12.3 | 13.4 | 15.0 | 17.1 | 19.3 | 21.3 | 23.0 | 24.1 | 24.5 | 24.4 | 24.0 | 23.3 | 22.4 | 21.4 | 20.1 | 18.9 | 17.5 | 16.3 |
| 15.0               | 14.0 | 13.1 | 12.4 | 12.0 | 11.9 | 12.3 | 13.4 | 15.0 | 17.0 | 19.2 | 21.4 | 23.1 | 24.2 | 24.6 | 24.5 | 24.0 | 23.4 | 22.5 | 21.4 | 20.1 | 18.8 | 17.5 | 16.2 |
| 14.8               | 13.8 | 12.9 | 12.3 | 11.9 | 11.8 | 12.2 | 13.2 | 14.8 | 16.7 | 18.8 | 20.8 | 22.5 | 23.5 | 23.9 | 23.8 | 23.4 | 22.7 | 21.9 | 20.8 | 19.6 | 18.4 | 17.1 | 15.9 |
| 13.5               | 12.3 | 11.3 | 10.6 | 10.2 | 10.0 | 10.4 | 11.6 | 13.4 | 15.7 | 18.1 | 20.3 | 22.2 | 23.4 | 23.8 | 23.6 | 23.2 | 22.5 | 21.5 | 20.4 | 19.0 | 17.6 | 16.2 | 14.8 |
| 11.4               | 10.0 | 8.9  | 8.1  | 7.6  | 7.4  | 7.9  | 9.2  | 11.4 | 13.9 | 16.7 | 19.4 | 21.6 | 23.0 | 23.5 | 23.3 | 22.8 | 21.9 | 20.8 | 19.4 | 17.8 | 16.2 | 14.5 | 12.9 |
| 10.1               | 8.7  | 7.6  | 6.7  | 6.2  | 6.0  | 6.5  | 7.9  | 10.1 | 12.8 | 15.7 | 18.3 | 20.4 | 21.8 | 22.3 | 22.1 | 21.6 | 20.8 | 19.6 | 18.3 | 16.8 | 15.1 | 13.4 | 11.7 |
| 13.3               | 12.0 | 10.9 | 10.1 | 9.6  | 9.5  | 9.9  | 11.3 | 13.3 | 15.8 | 18.5 | 21.0 | 23.0 | 24.4 | 24.8 | 24.6 | 24.2 | 23.3 | 22.3 | 21.0 | 19.5 | 17.9 | 16.3 | 14.8 |

Figura 93. Gráfica de temperaturas horarias.

En esta gráfica es muy fácil observar el nivel de confort térmico que hay en la zona de estudio a lo largo del día y la noche.

En el caso de estudio se observa que la mayoría del tiempo, la zona se encuentra por debajo del confort térmico, lo cual se puede prolongar hasta el mediodía.

También se observa que hay una zona de confort térmico (en blanco) ubicada entre las 11:00 y 13:00 horas, durante los meses más cálidos y a partir de las 18:00 hasta las 21:00.

La zona de sobrecalentamiento se ubica en los meses más cálidos entre las 13:00 y las 18:00 horas.

La imagen es totalmente congruente con la gráfica de días grado, en la cual se observa que los requerimientos de esta zona climática, donde se lleva a cabo el proyecto son relacionados con el calentamiento de los espacios.

Esto implica que uno de los objetivos será evitar la pérdida de calor generado hacia el interior de la vivienda, lo que apoya el hecho de crear una azotea vegetada en esta zona como un elemento aislante y no sólo como un elemento estético.

### Gráfica de Humedad horaria:

En lo que se refiere a la humedad, se considera que los límites de confort se encuentran entre el 30 y el 70%, lo que implica que debajo de 30% de humedad se consideraría un clima extremadamente seco y una humedad mayor al 70% implicaría un clima demasiado húmedo. Ver siguiente Figura.

| HUMEDAD RELATIVA |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1                | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 66               | 70 | 73 | 76 | 77 | 78 | 76 | 72 | 66 | 58 | 50 | 43 | 36 | 32 | 31 | 32 | 33 | 35 | 39 | 43 | 47 | 52 | 57 | 62 |
| 65               | 69 | 73 | 75 | 77 | 77 | 76 | 72 | 65 | 58 | 49 | 42 | 36 | 31 | 30 | 31 | 32 | 35 | 38 | 42 | 46 | 51 | 56 | 61 |
| 64               | 68 | 71 | 74 | 75 | 76 | 74 | 70 | 64 | 57 | 49 | 41 | 35 | 31 | 30 | 30 | 32 | 34 | 37 | 41 | 46 | 50 | 55 | 60 |
| 66               | 70 | 73 | 76 | 77 | 78 | 76 | 72 | 66 | 59 | 51 | 44 | 38 | 34 | 32 | 33 | 34 | 37 | 40 | 44 | 48 | 53 | 57 | 62 |
| 70               | 74 | 77 | 79 | 80 | 81 | 80 | 76 | 70 | 62 | 55 | 47 | 41 | 38 | 36 | 37 | 38 | 40 | 44 | 47 | 52 | 56 | 61 | 65 |
| 75               | 79 | 82 | 84 | 85 | 86 | 84 | 81 | 75 | 68 | 61 | 54 | 48 | 44 | 43 | 44 | 45 | 47 | 50 | 54 | 58 | 62 | 67 | 71 |
| 75               | 79 | 82 | 84 | 86 | 86 | 85 | 81 | 75 | 69 | 61 | 54 | 49 | 45 | 44 | 44 | 46 | 48 | 51 | 54 | 58 | 63 | 67 | 71 |
| 76               | 79 | 82 | 84 | 86 | 86 | 85 | 81 | 76 | 69 | 61 | 54 | 49 | 45 | 44 | 44 | 45 | 48 | 51 | 54 | 58 | 63 | 67 | 72 |
| 77               | 80 | 83 | 85 | 87 | 87 | 86 | 82 | 77 | 70 | 63 | 56 | 50 | 46 | 45 | 46 | 47 | 49 | 52 | 56 | 60 | 64 | 68 | 73 |
| 72               | 76 | 79 | 81 | 83 | 83 | 82 | 78 | 72 | 65 | 58 | 51 | 45 | 41 | 40 | 40 | 42 | 44 | 47 | 51 | 55 | 59 | 64 | 68 |
| 69               | 72 | 76 | 78 | 80 | 80 | 79 | 75 | 69 | 61 | 53 | 46 | 40 | 36 | 34 | 35 | 36 | 39 | 42 | 46 | 50 | 55 | 60 | 64 |
| 69               | 73 | 76 | 78 | 80 | 80 | 79 | 75 | 69 | 61 | 53 | 46 | 40 | 36 | 34 | 35 | 36 | 39 | 42 | 46 | 50 | 55 | 60 | 64 |
| 70               | 74 | 77 | 79 | 81 | 81 | 80 | 76 | 70 | 63 | 55 | 48 | 42 | 38 | 37 | 37 | 39 | 41 | 44 | 48 | 52 | 57 | 62 | 66 |

Figura 94. Gráfica de Humedad horaria.

En la zona de estudio, la humedad relativa la mayoría del tiempo se encuentra dentro de los límites de confort térmico, excepto por las madrugadas de todo el año, entre las 3 y las 8 de la mañana, lo que se alarga de la medianoche hasta las nueve de la mañana, los meses lluviosos.

### Gráficas de Radiación horaria

Las gráficas de radiación horaria están divididas en tres, la primera gráfica muestra los valores horarios para la radiación máxima total, la segunda muestra los valores de la radiación máxima directa y la tercera los valores de la radiación máxima difusa estimados para cada hora del día durante todo el año. Ver siguientes Figuras.

| RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA TOTAL |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1                            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19   | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 62.8  | 225.4 | 388.5 | 524.4 | 613.8 | 645.0 | 613.8 | 524.4 | 388.5 | 225.4 | 62.8  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 109.3 | 293.5 | 472.2 | 618.9 | 714.7 | 748.0 | 714.7 | 618.9 | 472.2 | 293.5 | 109.3 | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0   | 157.4 | 346.9 | 525.8 | 670.6 | 764.5 | 797.0 | 764.5 | 670.6 | 525.8 | 346.9 | 157.4 | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.5  | 186.9 | 357.6 | 515.1 | 641.0 | 722.1 | 750.0 | 722.1 | 641.0 | 515.1 | 357.6 | 186.9 | 30.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 55.9  | 206.1 | 363.6 | 506.8 | 620.3 | 693.0 | 718.0 | 693.0 | 620.3 | 506.8 | 363.6 | 206.1 | 55.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 59.6  | 191.5 | 327.8 | 451.0 | 548.4 | 610.6 | 632.0 | 610.6 | 548.4 | 451.0 | 327.8 | 191.5 | 59.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.8  | 178.9 | 313.8 | 436.4 | 533.4 | 595.6 | 617.0 | 595.6 | 533.4 | 436.4 | 313.8 | 178.9 | 49.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 27.9  | 160.7 | 305.0 | 438.0 | 544.1 | 612.4 | 636.0 | 612.4 | 544.1 | 438.0 | 305.0 | 160.7 | 27.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0   | 125.8 | 277.3 | 420.3 | 536.0 | 611.0 | 637.0 | 611.0 | 536.0 | 420.3 | 277.3 | 125.8 | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0   | 93.1  | 247.5 | 397.2 | 520.0 | 600.2 | 628.0 | 600.2 | 520.0 | 397.2 | 247.5 | 93.1  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0   | 60.5  | 214.2 | 368.1 | 496.3 | 580.6 | 610.0 | 580.6 | 496.3 | 368.1 | 214.2 | 60.5  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0   | 44.5  | 189.3 | 336.9 | 460.7 | 542.5 | 571.0 | 542.5 | 460.7 | 336.9 | 189.3 | 44.5  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0                          | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4   | 132.4 | 290.6 | 439.7 | 560.5 | 638.7 | 665.8 | 638.7 | 560.5 | 439.7 | 290.6 | 132.4 | 0.4  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |



# RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIRECTA

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19   | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 25.8 | 127.3 | 251.5 | 365.9 | 445.5 | 474.0 | 445.5 | 365.9 | 251.5 | 127.3 | 25.8  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 51.7  | 177.6 | 321.9 | 451.4 | 540.4 | 540.4 | 451.4 | 321.9 | 177.6 | 51.7  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 79.4  | 213.2 | 358.5 | 486.0 | 572.4 | 603.0 | 572.4 | 486.0 | 358.5 | 213.2 | 79.4  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.7  | 94.0  | 211.6 | 333.9 | 438.8 | 509.2 | 534.0 | 509.2 | 438.8 | 333.9 | 211.6 | 94.0  | 9.7  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.1 | 102.8 | 208.9 | 316.4 | 407.3 | 467.8 | 489.0 | 467.8 | 407.3 | 316.4 | 208.9 | 102.8 | 20.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.2 | 91.2  | 178.7 | 266.3 | 340.0 | 388.9 | 406.0 | 388.9 | 340.0 | 266.3 | 178.7 | 91.2  | 21.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 82.7  | 167.1 | 252.3 | 324.3 | 372.2 | 389.0 | 372.2 | 324.3 | 252.3 | 167.1 | 82.7  | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.2  | 73.1  | 162.8 | 255.9 | 335.7 | 389.2 | 408.0 | 389.2 | 335.7 | 255.9 | 162.8 | 73.1  | 8.2  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 54.8  | 147.1 | 247.4 | 335.3 | 394.9 | 416.0 | 394.9 | 335.3 | 247.4 | 147.1 | 54.8  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 39.0  | 132.4 | 239.2 | 334.9 | 400.6 | 424.0 | 400.6 | 334.9 | 239.2 | 132.4 | 39.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.8 | 115.7 | 227.6 | 330.7 | 402.4 | 428.0 | 402.4 | 330.7 | 227.6 | 115.7 | 23.8  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 16.3  | 99.6  | 204.8 | 302.8 | 371.4 | 396.0 | 371.4 | 302.8 | 204.8 | 99.6  | 16.3  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 61.3  | 163.7 | 274.9 | 372.2 | 438.2 | 461.6 | 438.2 | 372.2 | 274.9 | 163.7 | 61.3  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

# RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIFUSA

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19   | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 37.0 | 98.0  | 137.0 | 158.5 | 168.3 | 171.0 | 168.3 | 158.5 | 137.0 | 98.0  | 37.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 57.6  | 115.9 | 150.3 | 167.5 | 174.4 | 176.0 | 174.4 | 167.5 | 150.3 | 115.9 | 57.6  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 78.0  | 133.7 | 167.3 | 184.7 | 192.1 | 194.0 | 192.1 | 184.7 | 167.3 | 133.7 | 78.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.7 | 92.9  | 146.0 | 181.2 | 202.2 | 212.8 | 216.0 | 212.8 | 202.2 | 181.2 | 146.0 | 92.9  | 20.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.8 | 103.4 | 154.7 | 190.4 | 213.0 | 225.2 | 229.0 | 225.2 | 213.0 | 190.4 | 154.7 | 103.4 | 35.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 38.4 | 100.2 | 149.1 | 184.7 | 208.4 | 221.7 | 226.0 | 221.7 | 208.4 | 184.7 | 149.1 | 100.2 | 38.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 33.1 | 96.1  | 146.7 | 184.1 | 209.1 | 223.4 | 228.0 | 223.4 | 209.1 | 184.1 | 146.7 | 96.1  | 33.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 87.6  | 142.2 | 182.0 | 208.4 | 223.2 | 228.0 | 223.2 | 208.4 | 182.0 | 142.2 | 87.6  | 19.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0  | 71.0  | 130.2 | 172.9 | 200.7 | 216.1 | 221.0 | 216.1 | 200.7 | 172.9 | 130.2 | 71.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.1 | 115.1 | 158.1 | 185.1 | 199.5 | 204.0 | 199.5 | 185.1 | 158.1 | 115.1 | 54.1  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 36.7 | 98.5  | 140.5 | 165.6 | 178.2 | 182.0 | 178.2 | 165.6 | 140.5 | 98.5  | 36.7  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 28.2 | 89.7  | 132.1 | 157.9 | 171.0 | 175.0 | 171.0 | 157.9 | 132.1 | 89.7  | 28.2  | 0.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3  | 71.1  | 126.8 | 164.9 | 188.2 | 200.4 | 204.2 | 200.4 | 188.2 | 164.9 | 126.8 | 71.1  | 0.3  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Figura 95. Gráficas de radiación solar. Radiación solar máxima total, Radiación máxima directa y Radiación máxima difusa, respectivamente.

## Gráficas de viento:

| Azcapotzalco | 1951-2010     |
|--------------|---------------|
| CLIMA        | Cb w1(w) (f)g |
| BIOCLIMA     | SEMI-FRÍO     |
| LATITUD      | 19° 28'       |
| LONGITUD     | 99° 11'       |
| ALTITUD      | 2,255 msnm    |

Tabla de Datos de Viento

| mes        |   | N    | NE   | E    | SE  | S    | SO  | O    | NO   | % Calmas | prom. | máx. |
|------------|---|------|------|------|-----|------|-----|------|------|----------|-------|------|
| ENERO      | f | 11.2 | 13.0 | 13.1 | 4.2 | 7.3  | 2.9 | 5.1  | 12.1 | 31.1     | 1.1   | 1.8  |
|            | v | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.9 | 1.5  | 1.8 | 1.7  | 1.1  |          |       |      |
| FEBRERO    | f | 10.0 | 13.8 | 14.6 | 6.4 | 8.9  | 6.5 | 11.3 | 8.4  | 20.1     | 1.4   | 2.4  |
|            | v | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 1.1 | 2.1  | 2.4 | 1.9  | 1.3  |          |       |      |
| MARZO      | f | 9.1  | 12.8 | 13.1 | 8.9 | 10.2 | 9.8 | 13.4 | 11.6 | 11.1     | 1.4   | 1.9  |
|            | v | 0.6  | 0.9  | 1.1  | 1.6 | 1.6  | 1.8 | 1.9  | 1.4  |          |       |      |
| ABRIL      | f | 13.5 | 17.2 | 11.7 | 5.1 | 10.3 | 3.9 | 7.7  | 16.0 | 14.6     | 1.2   | 1.5  |
|            | v | 1.0  | 0.9  | 0.9  | 1.1 | 1.2  | 1.3 | 1.5  | 1.3  |          |       |      |
| MAYO       | f | 24.4 | 21.6 | 7.3  | 4.2 | 3.9  | 3.3 | 5.7  | 13.1 | 16.5     | 1.1   | 1.2  |
|            | v | 1.2  | 1.1  | 1.0  | 0.8 | 1.2  | 1.2 | 1.1  | 1.1  |          |       |      |
| JUNIO      | f | 23.1 | 19.8 | 6.5  | 3.1 | 8.5  | 1.8 | 3.8  | 12.2 | 21.2     | 1.1   | 1.3  |
|            | v | 1.1  | 1.0  | 0.8  | 1.2 | 1.1  | 1.0 | 1.3  | 1.0  |          |       |      |
| JULIO      | f | 18.9 | 10.0 | 4.5  | 3.6 | 6.4  | 0.5 | 2.7  | 26.4 | 27.0     | 1.0   | 1.4  |
|            | v | 1.0  | 0.8  | 0.9  | 1.3 | 1.4  | 0.5 | 0.9  | 0.9  |          |       |      |
| AGOSTO     | f | 23.0 | 15.4 | 5.3  | 3.3 | 4.8  | 0.9 | 3.7  | 23.4 | 20.2     | 0.9   | 1.1  |
|            | v | 0.9  | 0.8  | 1.1  | 1.0 | 0.9  | 0.7 | 1.0  | 0.9  |          |       |      |
| SEPTIEMBRE | f | 26.4 | 11.2 | 5.8  | 2.6 | 2.9  | 1.3 | 4.9  | 22.6 | 22.3     | 0.8   | 0.9  |
|            | v | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8 | 0.7  | 0.9 | 0.8  | 0.7  |          |       |      |
| OCTUBRE    | f | 21.0 | 16.5 | 4.7  | 3.1 | 1.7  | 0.9 | 2.5  | 25.2 | 24.4     | 0.8   | 1.0  |
|            | v | 1.0  | 0.9  | 0.6  | 0.9 | 0.6  | 0.9 | 0.7  | 1.0  |          |       |      |
| NOVIEMBRE  | f | 22.3 | 15.6 | 6.1  | 3.9 | 4.2  | 1.4 | 3.8  | 20.4 | 22.3     | 1.0   | 1.5  |
|            | v | 0.9  | 0.7  | 0.7  | 1.1 | 1.0  | 1.5 | 1.0  | 0.9  |          |       |      |
| DICIEMBRE  | f | 8.0  | 13.5 | 11.3 | 8.1 | 7.5  | 1.9 | 3.9  | 12.5 | 33.3     | 1.2   | 2.3  |
|            | v | 1.2  | 0.8  | 0.7  | 0.9 | 1.8  | 2.3 | 1.0  | 0.9  |          |       |      |
| ANUAL      | f | 17.6 | 15.0 | 8.7  | 4.7 | 6.4  | 2.9 | 5.7  | 17.0 | 22.0     | 1.1   | 1.4  |
|            | v | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 1.1 | 1.3  | 1.4 | 1.2  | 1.0  |          |       |      |

Figura 96 Datos de viento, dirección, frecuencia y velocidad.

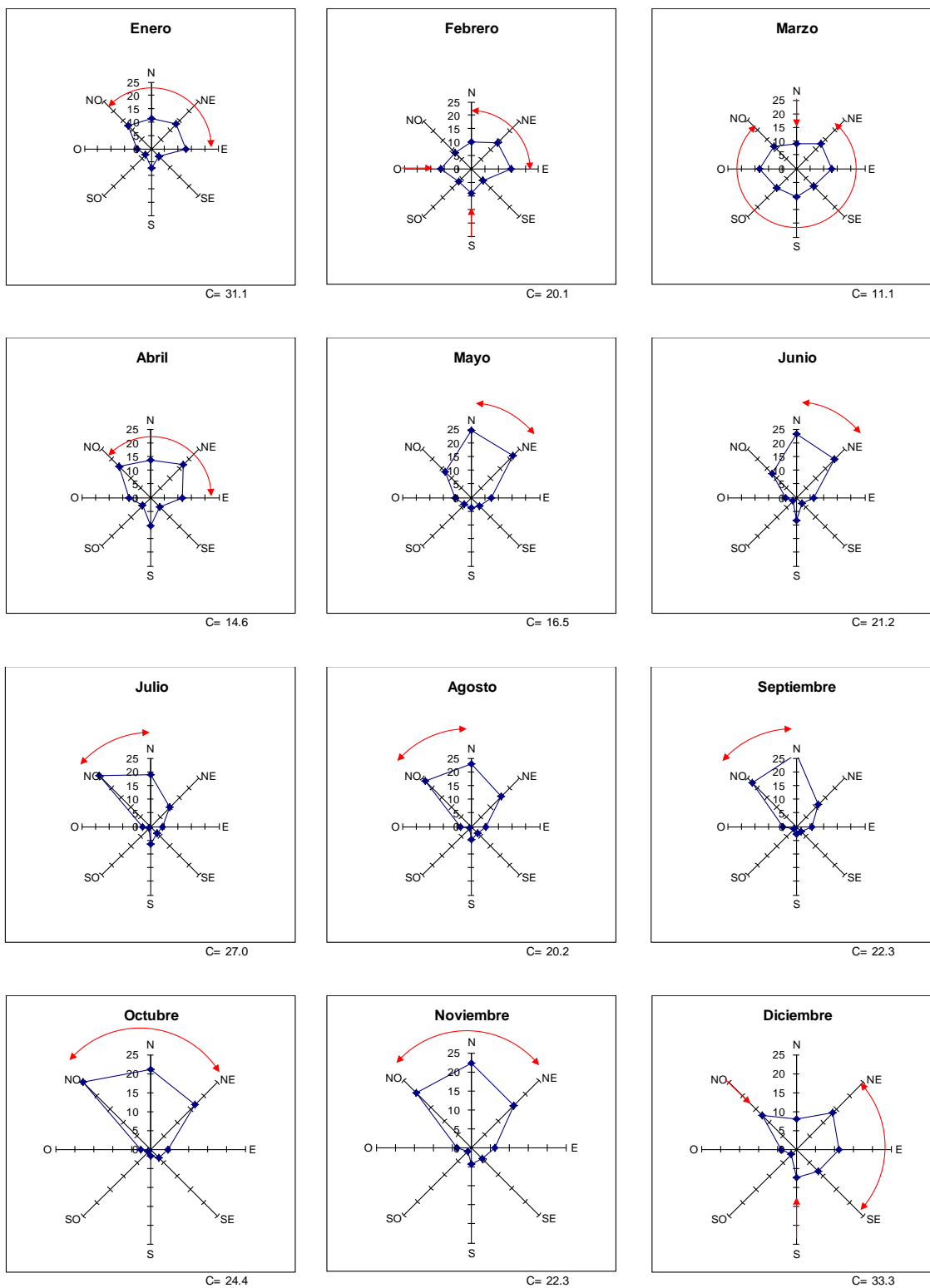


Figura 97 Gráficas de viento para cada mes del año.

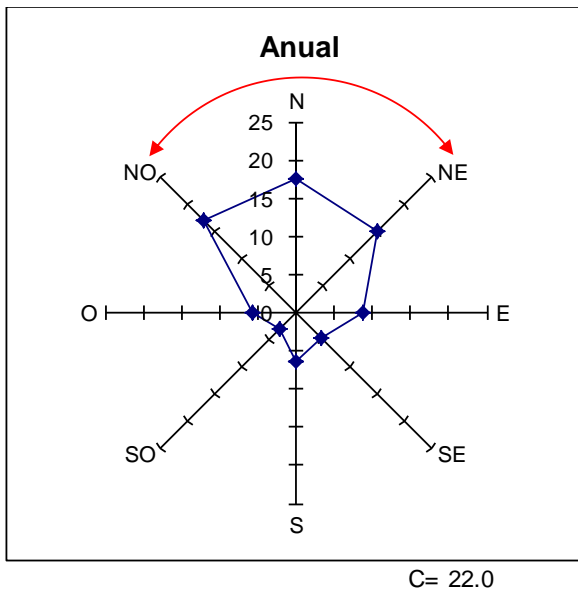


Figura 98 Gráfica anual de viento

Se puede observar que la dirección del viento es mayormente Noroeste, Norte y Noreste, con una frecuencia para cada orientación de alrededor del 17, 17.6 y 15% respectivamente y con una velocidad que no sobrepasa en promedio el 1.1 m/s, lo cual es una velocidad adecuada y confortable para cualquier actividad que se lleve a cabo. (Figuras 96 a 98).

Otra de las orientaciones importantes por la frecuencia es la orientación Este, que presenta la cuarta frecuencia más alta con un 8.7% y una velocidad de 0.9m/s, todas las demás orientaciones presentan valores más bajos que no tienen relevancia para el desarrollo de la vegetación en el espacio propuesto.

## 6.8. Análisis Bioclimático

En el caso de nuestra zona de estudio, tomando en cuenta los datos climáticos, se sabe que las estrategias deben estar orientadas en primer lugar a mantener el confort térmico dentro al interior de los espacios, si bien las temperaturas son confortables, es importante tener en cuenta que durante las noches de todo el año, las temperaturas se encuentran por debajo de confort térmico y durante el día se puede presentar sobre calentamiento, especialmente al inicio de la tarde de los meses comprendidos entre marzo y junio.

A continuación se analizan algunas gráficas bioclimáticas para aumentar el conocimiento del entorno y definir las estrategias necesarias para mantener la eficiencia energética de los espacios en la zona de estudio.

### Gráfica estereográfica

Las gráficas estereográficas nos ayudaran a elegir con mayor certeza la orientación adecuada, de tal manera que las edificaciones reciban los rayos solares cuando sea necesarios para

calentar las paredes como estrategia pasiva de calentamiento o que los eviten en los momentos más cálidos para eliminar el riesgo de sobrecalentamiento. Ver siguiente Figura.

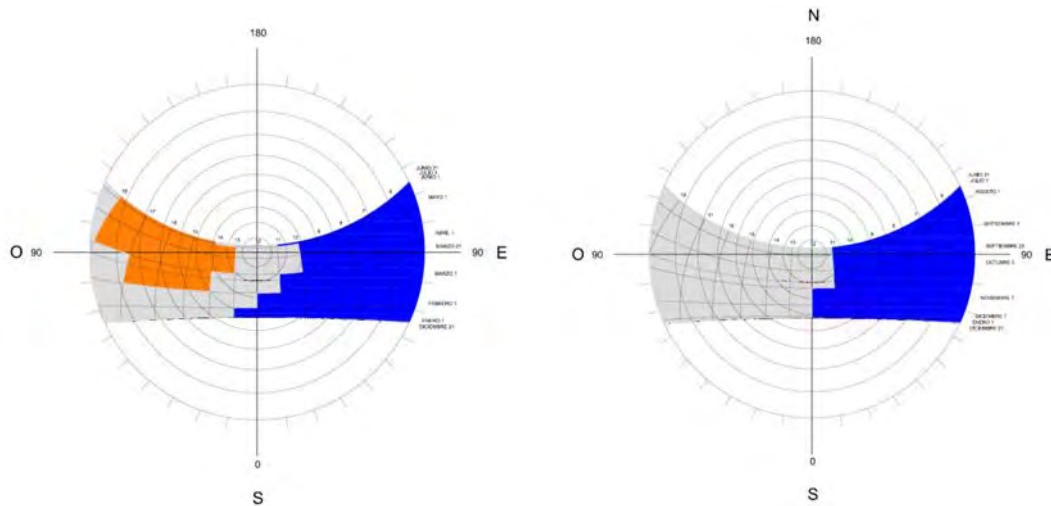


Figura 99. Gráficas estereográficas.

Las temperaturas son de bajo confort hasta por lo menos las 11 de la mañana, alargándose hasta las 12 del mediodía en noviembre, diciembre, enero y febrero, los meses más fríos del año.

Es muy importante que se tenga esto en cuenta pues es lo que define que la orientación en esta ciudad debe estar dirigida preferentemente hacia el Sureste y Sur para obtener la ganancia térmica de los rayos solares a primera hora de la mañana, eliminar el exceso de humedad propia de la madrugada y mejorar el confort hacia el interior de las habitaciones durante estas horas. Cabe mencionar que los espacios donde se encontrará el espacio naturado son oficinas, por lo que, estos rangos de humedad no afectan a las personas que ahí laboran.

El resto del tiempo la ciudad de México se encuentra en confort la mayor parte del tiempo por lo que es recomendable que se empleen estrategias diseñadas para mantener el confort y se eviten sobrecalentamientos o pérdidas de calor.

Durante los meses secos en la primera mitad del año, se produce un momento de sobrecalentamiento durante las horas vespertinas, desde las 14:00 hasta las 17:00

especialmente entre los meses de marzo a junio, horario que se alarga hasta dos horas durante los meses de abril y mayo, considerados los meses más calientes del año. Generalmente junio será igual o muy parecido a mayo, aunque esto dependerá del inicio de la época de lluvias.

Las estrategias recomendadas por esta gráfica son la orientación hacia el Sureste o Sur para obtener mayores horas de radiación solar por la mañana y beneficiarse del sol alto del Sur, la orientación Este también es adecuada, aunque en invierno pueden producirse pérdidas de calor durante las horas vespertinas. El Oeste se sugiere, siempre y cuando esté protegido de manera adecuada contra los rayos solares vespertinos especialmente entre marzo y junio.

Es importante evitar la orientación Norte ya que al no contar con la radiación solar, la edificación tendrá una marcada tendencia a mantenerse muy fría provocando un gasto muy alto de energía para calentarla.

### Gráficas Psicrométricas

La gráfica psicrométrica es una de las herramientas más versátiles en cuanto a definición de estrategias climáticas, ya que nos permite saber cuáles son las más favorables para el clima que se está estudiando. En el caso específico de la ciudad de México, donde se encuentra nuestro proyecto, la gráfica que correspondiente al primer semestre del año, nos muestra que se deben mejorar las temperaturas de las mañanas como de las noches, ya que estas se sitúan por debajo del confort térmico.

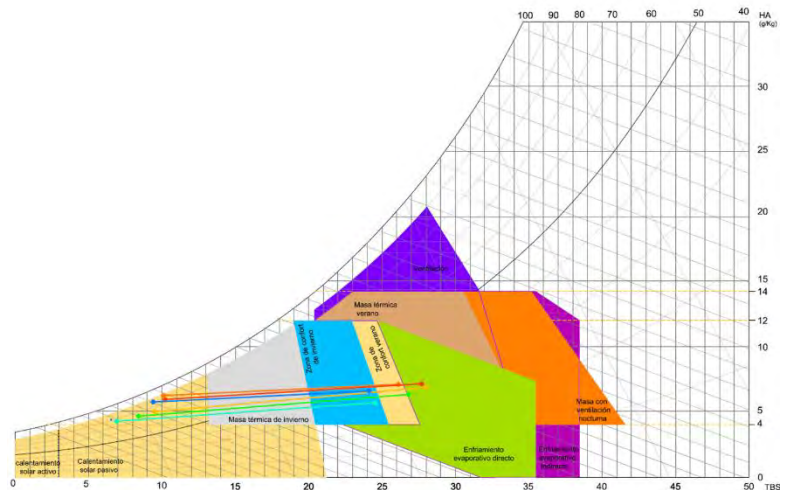


Figura 100 Gráfica Psicrométrica para el primer semestre del año

Por lo tanto, las estrategias a utilizar para estos extremos son, por una parte, durante las primeras horas del día, el calentamiento solar pasivo, por lo que es necesaria una orientación hacia el Este o Sureste.

Por otro lado, y para evitar las pérdidas de calor durante la noche, es necesario contar con masa térmica de invierno, por lo que es importante tener en cuenta que la estructura deberá contar con una inercia térmica adecuada.

Durante el primer semestre en las horas del día, hay momentos de confort térmico como de sobrecalentamiento especialmente entre los meses de marzo a junio, por lo que es muy importante proteger las edificaciones de la orientación Oeste, de tal manera que el calor no incida directamente hacia el interior de los espacios. Ver Figura 98.

También se sugiere para los meses más calientes, el uso de masa térmica de verano y el enfriamiento evaporativo, especialmente en las horas vespertinas cuando la humedad tiende a estar demasiado baja.

En cuanto al segundo semestre, la gráfica psicrométrica muestra como casi todo el horario diurno, las temperaturas se encuentran en confort térmico, mientras que las temperaturas matutinas y nocturnas están por debajo del confort térmico por lo que es muy importante nuevamente tener en cuenta la necesidad de masa térmica, así como el calentamiento solar pasivo durante las madrugadas. Ver Figura 99.

El calentamiento solar pasivo ayudará tanto a calentar el ambiente así como a reducir la humedad acumulada durante las horas más frías de la madrugada, es importante que se dé prioridad a la orientación Este y Sureste.

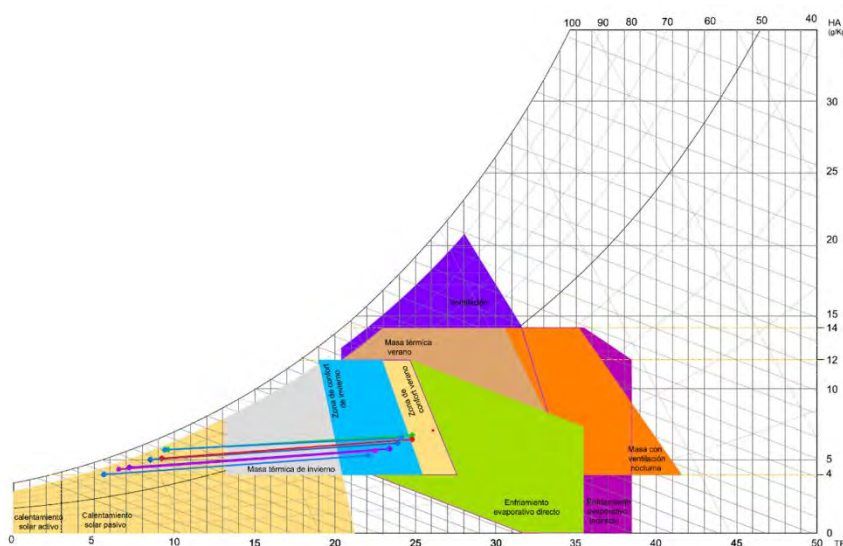


Figura 101 Gráfica Psicrométrica para el segundo semestre del año



## Triángulos de Evans

Este método, desarrollado por John Martin Evans plantea la relación de dos variables: la temperatura media y la oscilación térmica, permitiendo ver sus variaciones durante un día o durante los doce meses del año, cómo se ha optado en el presente estudio.

El primer triángulo muestra las zonas de confort y el segundo plantea las estrategias a aplicar para cada caso. (Figura 100).

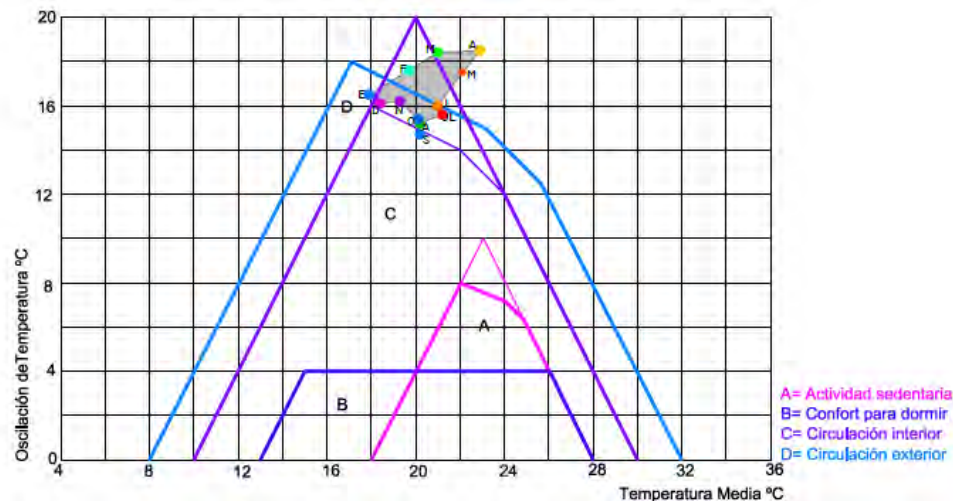


Figura 102.- Triángulo de confort de Evans.

Como se puede observar en el primer triángulo, presenta casi todo el año confort en la zona interior de los espacios, excepto el mes de enero y los meses de marzo, abril y mayo.

Se trata de un clima bastante confortable, en el cual se presentan eventualmente momentos de frío intenso, como en el mes de enero y otros de sobrecalentamiento como entre los meses de marzo a mayo.

En este caso, el enfoque se centrará en evitar los cambios de temperatura hacia el interior de los espacios, tratando de mantener el confort que de forma natural se tiene, en caso que no exista tal confort es necesario aplicar la estrategia indicada en el triángulo según se indique.

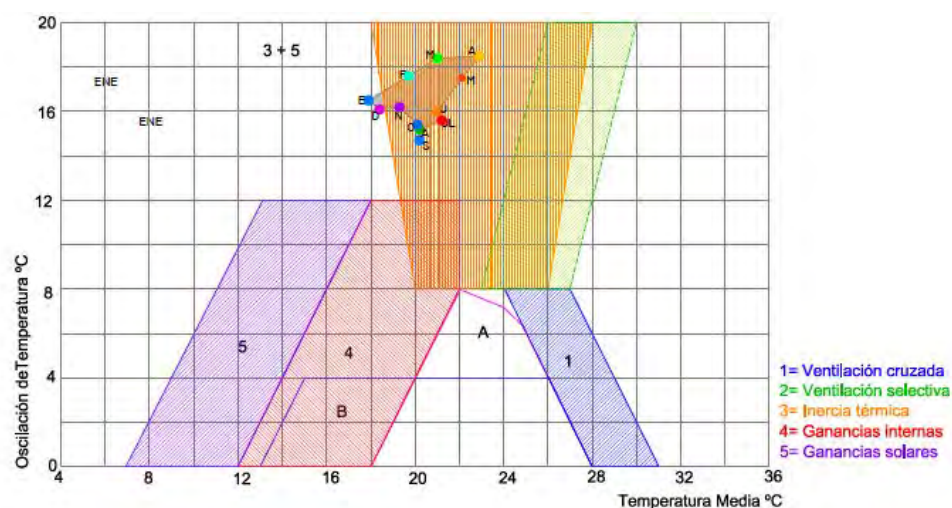


Figura 103 Triángulo de confort de Evans. Zonas de estrategias.

Como se puede observar en el triángulo de las estrategias, la más indicada para el caso de la zona de estudio es la inercia térmica, la misma que se puede lograr a través del uso de materiales con tendencia a retardar el intercambio térmico entre el exterior y el interior como son por ejemplo el adobe, las azoteas vegetadas para el caso de la cubierta o los aislantes térmicos.

Los meses de diciembre y enero, los más fríos del año necesitarán, además, alguna otra estrategia que no se especifica en estas gráficas pues ambos meses quedan por fuera de la zona marcada como zona de inercia térmica, lo cual indica que es necesario prever otros medios para mantener el confort hacia el interior de los espacios. Ver Figura 101.

## Conclusiones

Las estrategias en la zona de estudio caracterizada por con un clima templado, se concentrarán sobre todo en no modificar el confort del que goza la ciudad durante la mayor parte del día.

Para las pocas horas de exceso de calor que se encuentran al medio día de los meses más cálidos, de mayo a junio, se puede utilizar la ventilación selectiva como estrategia pasiva, dado que con un promedio de 18°C, es seguro que se podrán disipar los grados de más que no deben sobrepasar los 28°C.



En cambio, para calentar el ambiente, que es el requerimiento de mayor importancia para esta ciudad, la ganancia solar como estrategia pasiva es indispensable, lo que se realizará durante las horas de la mañana, con el objeto de eliminar la humedad residual de la noche.

Por otra parte, se optará por masa térmica en la envolvente para evitar las pérdidas de calor generado hacia el interior de la vivienda durante la noche, lo cual implica utilizar masa térmica tanto en paredes como en la cubierta.

En este sentido una azotea vegetada en la cubierta hará a la vez de receptora de la radiación solar y barrera térmica, lo que impedirá durante el día la incidencia directa de los rayos solares hacia la losa y por lo tanto se evitará que las temperaturas interiores se eleven por acción de una cubierta desprotegida.

Con respecto a los vientos, la zona de estudio, no presenta vientos exageradamente fuertes que representen peligro para el buen desempeño de las azoteas, aunque es necesario contar con un diseño adecuado que no sea vulnerable a éstos. Por otra parte, es importante tener en cuenta que, en caso de que la azotea vegetada esté resuelta con algún sistema que utilice macetas o módulos elevados respecto a la losa, será necesario proteger el borde inferior de las mismas de tal manera que no se permita el paso del aire por este espacio, pues esto puede vulnerar la estanqueidad necesaria para el aislamiento.

En cuanto a la necesidad de mantener el confort térmico dentro de la edificación durante las horas de la noche, la azotea vegetada actuará como un eficiente aislante térmico, impidiendo que el calor acumulado durante el día se pierda durante las horas más frías.

Además, dado que las azoteas vegetadas evitan la radiación directa durante el día y al mismo evitan la pérdida de calor durante la noche, una de las mayores ventajas que presentan es que la oscilación de temperatura en el interior de la edificación es mucho menor que con otras soluciones de cubierta, lo cual hace que se pueda mantener el confort térmico durante más tiempo sin el uso de energía adicional.

Es muy importante tener en cuenta que más allá de las ventajas directas sobre la edificación que tiene una azotea vegetada, también tiene una influencia positiva a nivel urbano relacionado con la reducción del fenómeno de la isla de calor y coadyuva a reducir los GEI acumulados en las zonas urbanas.

Por lo que es perfectamente adecuado decir que el uso de azoteas vegetadas ayuda al confort del ser humano tanto a nivel de la arquitectura como a nivel urbanístico.

Para terminar este apartado relacionado con el clima, y con la finalidad de justificar la



implementación de un sistema naturado en cada uno de los otros climas de la república mexicana, a continuación se describe el tipo de azotea que se recomienda en cada tipo de clima.

Según el INEGI, los climas de México son los que están detallados en la Figura 104.

Figura 104 Climas de México según INEGI

La justificación para la implementación de un sistema de naturación según el tipo de clima de acuerdo a la clasificación climática que señala el INEGI, es la siguiente:

| Clima              | Azotea Vegetada | Justificación             | Vegetación    |
|--------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| Muy seco           | Si              | Masa térmica              | Cactáceas     |
| Seco               | Si              | Masa térmica              | Cactáceas     |
| Templado subhúmedo | Si              | Masa térmica              | Suculentas    |
| Templado húmedo    | Posible         | Masa Térmica              | Pasto         |
| Cálido húmedo      | Si              | Absorción de la radiación | Pasto u otras |
| Cálido subhúmedo   | Si              | Masa térmica              | Pasto u otras |

Figura 105 Justificación para implementación de un sistema de naturación según el tipo de clima. (EP)

Derivado del análisis climático y para dar seguimiento a la selección de la vegetación, concluimos que las especies a buscar, son a aquellas que soporten lo siguiente:

Temperatura: 28°C y una mínima de 5°C.

Humedad Relativa: 52%.

Precipitación: 759.5 mm y máxima en 24 horas, 70.6 mm.

Radiación: 665 W/m<sup>2</sup> y directa de 461 W/m<sup>2</sup>.

Viento: Velocidad máxima de 2.4m/s.

## 6.9. Selección de la vegetación

Como ya se mencionó en el capítulo 5, la correcta selección de la vegetación va a contribuir al buen funcionamiento del sistema de naturación, por lo que se deben tomar en cuenta varios aspectos a la hora de la selección, esta, es una de las decisiones de mayor importancia para garantizar en la medida de lo posible los beneficios y preservación del sistema a largo plazo.

Para el proyecto de azoteas verdes de la UAM-A, se tomó la siguiente decisión:

De la paleta vegetal que contiene las especies de plantas que mejor han respondido a la exposición de las inclemencias climáticas en las azoteas proporcionada por el Dr. Jerónimo Reyes, se hace una selección de las que se cuenta con más información para su propagación, cultivo, cuidados para su desarrollo y mantenimiento. De esta manera podemos tener mayor probabilidad de éxito en nuestro sistema. Por lo que se opta en utilizar en su mayoría las del género *Echeveria*.

Como se vio en el capítulo 5, algunas especies de este género que habitan altitudes altas y con sombra o resolana que la vegetación que las rodea les proporciona, requieren ser cultivadas con las condiciones semejantes a las de su bioclima, así que al ser utilizadas en las terrazas de los edificios HP y HO, se puede ser optimista al respecto, pues estos espacios, aunque son abiertos, tienen un techo. Y en las zonas dónde da el sol de manera directa, se colocarán las de la familia cactácea y agavácea.

Ejemplos de algunas de las especies a utilizar. (Ver anexo 1 del presente trabajo).

| Nombre científico           | Imagen  | Nombre científico          | Imagen  |
|-----------------------------|---|----------------------------|---|
| <i>Echeveria gigantea</i>   |  | <i>Echeveria agavoides</i> |  |
| <i>Echeveria gibbiflora</i> |  | <i>Echeveria elegans</i>   |  |
| <i>Agave potatorum</i>      |  | <i>Agave angustifolia</i>  |  |

### 6.10. Selección del sustrato

También este debe estar compuesto preferentemente por los materiales de la región y puede ser utilizado para el cultivo de nuestras especies. Pero en algunos casos, se tiene que diseñar sustratos especiales para cada tipo de planta o para cada especie, esto estará condicionado al clima de la zona. Para nuestras familias de plantas será el mismo tipo de sustrato, nada más que se tomará en cuenta lo siguiente:

- Utilizar tierra de hoja,
- Tierra negra
- Composta,
- Peat moss o musgo de turbera
- Fibra de coco.

Mezclados con otros materiales minerales con la finalidad de obtener un sustrato ligero, poroso y bien drenado, tales como:

- Gravilla
- Tepojal
- Tezontle
- Agrolita o vermiculita

Se puede tomar como regla general para un sustrato estándar la siguiente proporción para cada elemento que lo compone.

25% Composta ya sea de vermicomposta<sup>67</sup> o de hojarasca.

25% Tierra negra bien descompuesta y cernida.

50% Material mineral (tepojal<sup>68</sup>, tezontle, vermiculita, etcétera).

Normalmente se recomienda el uso de tepojal, pues es más ligero, limpio y tiene poca actividad en la retención y administración de nutrientes. El tezontle es bueno, pero puede ser más pesado. La agrolita y la vermiculita son materiales buenos, pero excesivamente ligeros, por lo que conviene mezclarlos con otros materiales más pesados hasta obtener el peso y la consistencia adecuada.

Para obtener un óptimo sustrato, se deben agregar los nutrientes necesarios para mantener a la planta por al menos un año.

- Nitrógeno
- Fósforo
- Magnesio
- Potasio

<sup>67</sup> Composta de lombriz.

<sup>68</sup> Conocido como cacahuatillo, es una pequeña piedra de origen volcánico recubierto de arcilla, más ligero que el tezontle.

- Calcio
- Manganeso

Con un buen drenaje pero al mismo tiempo mantener húmedo al sustrato de tal manera que las raíces crezcan saludables.

| Frecuencia de Riego |   |
|---------------------|---|
| Microclima          | Necesidad de riego                                  |
| Frío y húmedo       | Espaciado, cada quince días                         |
| Templado y cálido   | Más frecuente, cada diez días o una vez a la semana |

Durante el invierno, el riego es más espaciado, ya que las plantas se encuentran en su periodo de descanso, es decir, no están creciendo. Así que el riego será cada 25 o 30 días.

Si las hojas de las plantas no son tan gruesas, el riego puede ser dos veces por semana. Si las hojas son más gruesas, el riego puede ser cada tres o cuatro semanas.

### 6.11. Sistema

Como ya se mencionó en el capítulo 5, punto 10 del presente trabajo, que sistema se refiere a las capas impermeabilizante anti-raíz, drenante, filtrante y auxiliares, estas en caso de ser necesario.

Para el proyecto de de azoteas verdes en las Terrazas de los edificios HO y HP, proponemos para el sistema de naturación, la utilización de la membrana impermeabilizante anti-raíz *Uniplas Jardín Plus SBS*, para la capa drenante, *Uniplas Drenaje con Geotextil* y para la capa filtrante, *Uniplas Jardín Plus Drenaje Sencillo 200*.<sup>69</sup>

A continuación, se presenta un cuadro con la descripción básica de las tres capas arriba mencionadas, información obtenida de las fichas técnicas de cada producto. Figura 106.

<sup>69</sup> Productos de la marca registrada Imperquimia.

| Capa   | Descripción  | Especificaciones Técnicas  | Rendimiento Teórico                               | Presentación  |
|--|--|--|---|---|
| <b>Impermeabilizante Anti-raíz</b><br><i>Uniplas Jardín Plus SBS</i> | Lámina prefabricada a base de asfalto, reforzada con malla de poliéster Spun-Bonded de alta resistencia con filamentos longitudinales de fibra de vidrio para mayor estabilidad dimensional. Con protección contra la penetración de raíces, para una auténtica solución ecológica en la construcción. | Cumple norma UNE 53420:1989 ("Membranas impermeabilizantes: Determinación de la resistencia a la perforación por raíces"), LUPINE TEST (DIN 4062).   | 8.7 m² por rollo de 10m².                         | 4.0 mm granulado. Color rojo.   |
| <b>Drenante</b><br><i>Uniplas Drenaje con Geotextil</i>              | Consiste en un núcleo de drenaje de polietileno reciclado fundido y una membrana geotextil adherida a la cara superior para mantener la flexibilidad, con alta resistencia mecánica, capacidad drenante y retenedora de agua.  | Resistencia a la compresión, cumple con la norma UNE EN ISO 604<br>Resistencia a la tracción cumple con la norma UNE EN 12311<br>Alargamiento a la rotura cumple con la norma UNE EN 12311-1<br>Módulo de elasticidad cumple con la ISO 178<br>Absorción de agua, Capacidad de drenaje, Resistencia de temperaturas y Volumen de aire entre nódulos, cumplen con la norma DIN 53495. | 40.8 m² por rollo considerando traslapes de 5 cm. | Rollo de 42 m², longitud de 20m y ancho de 2.10m. Nódulo de 7.3 x ±0.2mm. |
| <b>Filtrante</b><br><i>Uniplas Jardín Plus Drenaje Sencillo 200</i>  | Es una membrana geotextil de polipropileno, color gris de alta resistencia mecánica a la perforación y capacidad drenante para efectuar una retención eficiente de tierra vegetal.   | Punzonamiento N - (Lb) por método ASTM D- 4833 445 (100)<br>Capacidad de absorción, 500% (min)<br>Consejos de gestión de residuos. Recolectar, separar y entregar a empresa recicladora de plásticos.  | 135 m por rollo de 150 m².                        | Rollo de 100 m lineales x 1.5 m.<br>Membrana notejada, color gris.        |

Figura 106 Especificaciones básicas de las capas que componen el sistema. Información obtenida de las fichas técnicas. Elaboración propia

6.12. Programa de Mantenimiento

| Fam.                       | Especie                              | Riego  |   |  |  | Fertilización  | Control de plagas   |
|----------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|--|---|
|                            |                                      | Primavera  | Verano  | Otoño  | Invierno   |  |   |
| Crassulaceae (Crasuláceas) | <i>Sedum pachyphyllum</i>            | Evitar que el agua moje las hojas. Moderado en el periodo de crecimiento. Se recomienda cuando el sustrato este seco en los 2,5 cm superiores. | Mínimo cada 10 días o una vez por semana.                               | Mínimo cada 10 días o una vez por semana. De moderado a abundantemente . | Cada 25 o 30 días.<br>Mantenerlas secas.<br>Evitar que el agua moje las hojas. | 25 ml. de lixiviado de lombriz diluidos en 1Lt de agua.<br><br>Aplicar en forma de riego al comienzo de cada estación, excepto en invierno.<br><br>Aplicar una vez al mes. | Como medida de prevención, la vegetación a utilizar será a través del uso de semillas legalizadas y/o certificadas, ya que se encuentran libres de plagas y enfermedades.<br><br>En caso de presentarse una plaga y/o enfermedad, consultar el punto 5.11.3 del presente trabajo. |
|                            | <i>Sedum dendroideum</i>             |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Sedum moranense</i>               |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Sedum griseum</i>                 |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Sedum rubrotinctum</i>            |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Graptofedia "Darley Sunchine"</i> |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Graptusedum "Vera Higgins"</i>    |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Graptopetalum paraguayense</i>    |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Echeveria gigantea</i>            |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Echeveria gibbiflora</i>          |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Echeveria agavoides</i>           |  |   |  |  |  |   |
|                            | <i>Echeveria elegans</i>             |  |   |  |  |  |   |
| Cactáceas (Cactaceae)      | <i>Opuntia filas-indica</i>          | Una vez cada 10 o 12 días.<br>El sustrato debe estar seco entre riego y riego.   | De cada 4 a 8 días.<br>El sustrato debe estar seco entre riego y riego. |  | Una vez al mes.<br>El sustrato debe estar seco entre riego y riego.            |  |   |
|                            | <i>Opuntia joconostle</i>            |  |   |  |  |  |   |

| Fam.                       | Especie               | Riego  |   |       |  | Fertilización  | Control de plagas  |
|----------------------------|-----------------------|--|---|-------|--|--|--|
|                            |                       | Primavera  | Verano  | Otoño | Invierno   |  |  |
|                            |                       | El agua debe estar a temperatura ambiente.                                   |   |       |  |  |  |
| Crassulaceae (Crasuláceas) | Agave attenuate       | Moderado.<br>Cada 15 días (el sustrato debe estar seco entre riego y riego). | Por las tardes después de la puesta de sol. Moderado.<br>Cada 15 días. (el sustrato debe estar seco entre riego y riego). |       | Por las mañanas para dar tiempo a la evaporación y absorción durante el día.<br>Casi nulo. Una vez al mes. | 25 ml. de lixiviado de lombriz diluidos en 1Lt de agua.<br>Aplicar en forma de riego al comienzo de cada estación, excepto en invierno.<br>Aplicar una vez al mes. | Como medida de prevención, la vegetación a utilizar será a través del uso de semillas legalizadas y/o certificadas, ya que se encuentran libres de plagas y enfermedades. En caso de presentarse una plaga y/o enfermedad, consultar el punto 5.11.3 del presente trabajo. |
|                            | Agave celsii          |  |   |       |  |  |  |
|                            | Agave potatorum       |  |   |       |  |  |  |
|                            | Agave angustifolia    |  |   |       |  |  |  |
|                            | Agave “variegata”     |  |   |       |  |  |  |
|                            | Beaucarnea recurvata  |  |   |       |  |  |  |
| Asparagaceae               | Dasyliiron acrotriche | Cada cuatro días durante el primer mes.                                      | Cada cuatro días durante el primer mes. Moderado.   |       | Nulo.  |  |  |
|                            | Nolina longifolia     |  |   |       |  |  |  |

**Nota:** La propuesta de riego es para clima templado como el de la Ciudad de México. Para otros climas, el riego varía. Para el control de plagas se debe monitorear el crecimiento y desarrollo de la planta.

Figura 107 Programa de mantenimiento para la vegetación. (EP)



### 6.13. Costos

Para el tipo de azotea del presente estudio, que es semi-intensiva, el costo oscila entre los 1,400 y 1,750 pesos, ofreciendo la opción de tener diseños combinados, este precio incluye únicamente el costo de la instalación de sistema. Por lo que los costos de mobiliario, mantenimiento etc., deberán agregarse.

Así que si tenemos 100.00m<sup>2</sup> de azotea a naturar, la instalación del sistema oscila alrededor de los 175 mil pesos.

### 6.14. Instalación

La instalación, es propiamente la elección de quien instalará nuestro sistema de naturación, existe la opción de que el sistema de naturación sea instalado por los proveedores de Comex e Imperquimia, a pesar de que el sistema de capas se optó por el de Imperquimia, aún se está considerando quien realizará la instalación. Es importante resaltar que ambos proveedores ofrecen los siguientes beneficios de la azotea verde.

- Incrementa la insulación del edificio<sup>70</sup>.
- Extiende la vida de la construcción tres veces (Chicago 2003).
- Reduce la cantidad de metales y otros contaminantes.
- Crea un espacio abierto recreativo único en la zona.
- Bajo mantenimiento.
- Reduce la cantidad de superficie impermeable.
- Reduce y filtra escorrentías de lluvia.
- Reduce inundaciones.
- Protege la calidad del agua (The Nature Conservancy 2001).
- Promueve a la conectividad del ecosistema.<sup>71</sup>

Es importante verificar que los instaladores de los sistemas de naturación, ofrezcan la garantía y seguridad de la correcta instalación de estos, debemos verificar que estén certificados.

<sup>70</sup> Prevención del escape de electricidad mediante cuerpos no conductores.

<sup>71</sup> Información e imágenes propiedad de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco del proyecto de azoteas verdes. Proporcionada por la Comisión PIHASU-A en 2014 con fines académicos para ser usados en el presente trabajo.

### 6.15. Incentivos

Muy en particular para el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana, no es posible optar por los incentivos fiscales, ya que al ser un inmueble de Gobierno, no es procedente, pero se puede optar por “El Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)”, *instrumento de planeación de política ambiental dirigido a transformar y adaptar las edificaciones actuales y futuras bajo esquemas basados en criterios de sustentabilidad y eficiencia ambiental; y tiene como finalidad contribuir en la conservación y preservación de los recursos naturales en beneficio social y mejorar la calidad de vida de los habitantes del Distrito Federal.*

Tiene como objetivo el promover y fomentar la disminución de emisiones contaminantes, así como el uso eficiente de los recursos naturales tanto en el diseño como en la operación de edificios en el Distrito Federal, basado en criterios de sustentabilidad a través de un proceso de regulación voluntaria, obteniendo también incentivos económicos.

Del proceso de certificación se derivan beneficios distribuidos en tres niveles distintos, Cumplimiento, Eficiencia y Excelencia Ambiental, y se enlistan a continuación:

- Extensión del ciclo de vida del edificio
- Plusvalía de la propiedad
- Retorno de la Inversión
- Reducción en el consumo y pago de luz, agua y otros, por el uso eficiente de los recursos
- Incremento de la productividad personal
- Mejoramiento de las condiciones de salud y bienestar ocupacional
- Cumplimiento Normativo
- Reconocimiento nacional e internacional como miembro del grupo de Edificaciones Sustentables

## Conclusiones

---

Como se puede observar a través de este estudio, las múltiples y diferentes variables que se requieren analizar para la determinación de los diferentes aspectos que conlleva un proyecto de un espacio naturado, nos indica la necesidad de un proceso claro y sistemático para facilitar los requerimientos de un proyecto de este tipo.

Esta aproximación a una metodología es un avance en este proceso sistemático en el diseño, desarrollo, implementación y operación de espacios naturados, ya que considera todas las posibles variables que se necesitan y como resultado del objetivo general que era la elaboración de un modelo para la implementación de un sistema de naturación en las azoteas planas derivado de la investigación sistémica, tomando en cuenta las líneas temáticas de la Sustentabilidad de acuerdo a los lineamientos de la ONU y lo leído referente al tema, se recomienda que para diseñar un espacio naturado se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos: Socioeconómico, Normativo, Ambiental y Tecnológico.

A pesar de que el tema de la naturación es relativamente nuevo, podemos decir que es un concepto que ha existido desde hace mucho y ha venido evolucionando con el paso del tiempo. Se ha modificado para poder ser usado en las edificaciones que hoy en día son de concreto casi en su totalidad. Aunado a esto se tiene la urbanización y con esto, se han ido perdiendo las áreas verdes, siendo los sistemas naturados una solución no solo a este problema, sino a muchos otros, tales como: evitar el efecto isla de calor, aislar el ruido, retención de partículas en el aire y confort térmico entre otros.

Las Instancias de Gobierno empezaron a participar de forma activa durante la Gestión 2006-2012 creando programas, por medio de los cuales se instalaron sistemas de naturación como parte de las estrategias ambientales, que muy en particular tiene el Programa “Plan Verde”, para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad.

A nivel internacional, el gobierno de la ciudad de México es el primero en tomar el liderazgo para desarrollar políticas públicas que impulsen el desarrollo de dicha tecnología. Por lo que el 24 de diciembre de 2008, la Secretaría del Medio Ambiente publicó a través de la Gaceta Oficial la primera norma técnica NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal.

Ejemplo de ello, es que para el 2012 el Gobierno del DF había creado más de 8700 metros cuadrados de azoteas verdes en inmuebles de gobierno de la ciudad.

Lo que sí es un hecho, es que al pretender enverdecer la ciudad, se empezaron a instalar los sistemas sin el conocimiento necesario para ello, pues naturar un espacio, es un tratamiento técnico de la superficie, mediante el cual se crea una superficie vegetal inducida, por lo que no solo se requiere el conocimiento de varias disciplinas, si no la intervención de varios especialistas, ya que, hacer que las plantas se desarrollen en una azotea, no es lo mismo que en un jardín, parque, huerto, pradera o bosque. Son muchos los factores que deben tomarse en cuenta.

Existen en el mercado varios instaladores de azoteas verdes, por citar algunos: Entorno Verde, muy verde, green roof, Azoteas Verdes, Comex, Imperquimia, LiveRoof, Floraplast y Xeroflor. Todos ellos ofrecen: plusvalía, disminución de gastos en mantenimiento al no requerir volver a impermeabilizar, beneficios térmicos, acústicos, estéticos, purificación del aire, atrapar metales pesados, ayudar a reducir el calentamiento global, producción de oxígeno, disminución del efecto isla de calor, ayudar a que el ciclo hídrico no se vea interrumpido, evitar la sobresaturación del drenaje, etc.

No se pretende emitir un juicio a favor o en contra de los sistemas de naturación, ni de los instaladores, aunque hasta aquí, solo hemos visto los beneficios que nos brinda el instalar un sistema. En este sentido, es responsabilidad de quien diseña un sistema de naturación, verificar que quien vaya a instalar el sistema, ofrezca la garantía del correcto funcionamiento de este, más allá de que venda los beneficios que proporciona instalar una azotea verde.

Hasta el capítulo 2, simplemente se ha dado a conocer el origen de estos, lo que se requiere para implementarlo, los motivos que pueden ser desde simple estética, ahorro energético, confort térmico, incentivos y hasta con fines terapéuticos y de salud. Lo que si se pretende conseguir es concientizar a las personas interesadas en los sistemas de naturación, en que antes de instalar uno, tomen en cuenta todos los factores que para ser instalados intervienen para la correcta ejecución y operación de los mismos.

Es por lo que se organizaron todos y cada uno de los elementos que deben ser tomados en cuenta para la implementación de un sistema naturado en una azotea de techo plano, en cuatro componentes, socioeconómico, normativo, ambiental y tecnológico. Esta organización fue para poder investigar cada uno de ellos.

El aspecto social es tomado en cuenta en la instalación de un sistema naturado, ya que la sociedad juega un papel importante, es quien va a estar involucrada en el sistema. Primero, acepta instalarlo y decide la función que le dará a este y termina siendo el usuario. El incentivo, es el plus que se puede obtener para los propietarios del inmueble donde se instala un sistema, además de las certificaciones de Eficiencia y Excelencia, puede obtener un incentivo fiscal que se refleja en la reducción del pago del predial, que honestamente, es poco probable que cubra la inversión de inicio. En cuanto a los edificios públicos, estos solo pueden optar por los beneficios de certificación, ya que operan con recursos del erario y no aplicaría su beneficio fiscal. Pero si podemos decir que al decidir instalar un sistema de naturación lo hacemos por los beneficios inmersos en el propio sistema.

Es importante hacer mención, que los sistemas de naturación en México se instalan básicamente en el sector Gobierno y en edificios de la Iniciativa Privada, y que a pesar de contar con una norma técnica para la implementación de estos, carece de ámbito de validez, por lo que la instalación sigue siendo por mera decisión y no como obligación como sucede en países como Japón y actualmente en Francia.

Retomando el tema del costo, de manera superficial podemos decir que su instalación es elevada, y se puede ver claramente, porque solo vemos azoteas verdes en inmuebles del sector privado y en edificios públicos financiados por el gobierno. Dado que el evaluar el costo de la instalación de un sistema naturado no es la finalidad en este trabajo, bien valdría la pena para emitir un juicio al respecto, realizar un análisis de costo beneficio contra la razón por la cual se instala, es decir, térmico, acústico, recreativo, educativo, producción de alimentos, de plusvalía, etc. Y poder determinar su “valor” o su “costo”.

Aunado a la función y aceptación de un sistema de naturación, se debe tomar en cuenta la estructura del edificio para determinar si se implementa o no, en el caso de ser un edificio existente, se requiere el análisis estructural realizado por un Director Responsable de Obra, donde agregará al peso propio del edificio, el del sistema en estado de saturación de agua. En caso de ser un edificio nuevo, la carga del sistema será tomada en cuenta desde el diseño estructural. En este sentido, podemos afirmar que, si el análisis estructural arroja que el inmueble no resiste la carga adicional del sistema de naturación, por seguridad, no se podrá implementar. Así que este puede ser un impedimento más para no instalar sistemas de naturación.

Quizá el conocimiento del clima no sea importante para quien instala el sistema de naturación, pero si para quien lo diseña y supervisa, es por ello que el MCM contempla el aspecto ambiental. Y esto se resume a la obtención de las normales climáticas de la estación meteorológica más cercana al lugar donde se instalará sistema y capturar esos datos a la hoja de cálculo en Excel, diseñada por el Dr. Víctor Fuentes<sup>72</sup>, posteriormente se deben interpretar los resultados para obtener el tipo de clima y con él, las estrategias de diseño que se aplicaran para la ubicación del sistema.

Al respecto, si es importante resaltar que en la presente tesis se elaboró el análisis climático y bioclimático para determinar qué elementos y factores del clima son necesarios de tomar en cuenta, ya que es muy probable que los que se dedican a instalar los sistemas, no tenga la posibilidad de elaborar un análisis tan completo como el que podemos realizar gracias a la hoja de cálculo del Dr. Víctor Fuentes, pero si podemos decir lo siguiente después del desarrollo del capítulo del componente ambiental:

En efecto, no es necesario elaborar el análisis completo, pero no debemos ignorar la relación clima-vegetación-clima. Aunque la vegetación tiene la capacidad de adaptarse al clima (básicamente a vientos, radiación, humedad.), no por ello se elegirá cualquier tipo de especie y mucho menos sin tener un conocimiento de este, también debemos tomar en cuenta la radiación y los fenómenos especiales tales como, días de heladas, nevadas y granizo. Para la zona de Azcapotzalco, los datos climatológicos reflejan cero días de nevadas y heladas, y casi un día de granizo en agosto, así que podemos decir que estos fenómenos especiales para la zona de estudio, no deben ser considerados para la elección, desarrollo y mantenimiento de la vegetación.

Además de la correcta selección de las especies en base al conocimiento de los elementos del clima, como son temperatura, humedad, asoleamiento y viento, la clave del buen desarrollo de una planta y en general de la vegetación, es la raíz. Es la parte más importante del cuerpo vegetal. Dos de las funciones principales que tiene la raíz son: sujetar la planta al suelo, en el caso de sistemas naturados, al sustrato y tomar de este, el agua y las sales minerales para alimentar a la planta. Para que esto sea posible, se debe crear un sustrato óptimo, además de sujetar y alimentar a la planta, debe tener características muy específicas para la implementación de cubiertas naturadas, debe ser liviano, con buena aireación de la raíz, permitir que la planta absorba el agua y la retenga de manera adecuada, permitiéndole que

<sup>72</sup> O cualquier otro método de análisis del clima con que cuenten y que les permita obtener estrategias de diseño, criterios de selección de vegetación, etc.

disponga de ella constantemente. Además de la suficiente porosidad para que pueda drenar el exceso de agua, ya sea de las lluvias o del riego. Un sustrato debe cumplir la función del suelo, y no olvidemos que el suelo es el sostén de los vegetales, y con ellos, el de los animales. Es el primer enlace de una cadena en la que está implicado el ser humano, de aquí el peso del suelo como parte fundamental en el beneficio de actividades antrópicas,<sup>73</sup> como lo son las agrícolas, ganaderas, forestales o paisajísticas.

Para una óptima selección de especies de plantas a utilizar en un sistema de naturación, y sin omitir el conocimiento de los elementos del clima que influyen en el desarrollo de las plantas, podemos aportar un listado de especies que se han desarrollado adecuadamente en azoteas de la Ciudad de México, dichas especies son motivo de estudio en el Jardín Botánico de la UNAM y que en el presente trabajo se desarrolló una descripción de esas especies, incluyendo datos como son: nombre común, lugar de origen, características, riego, floración y cultivo. Siendo una guía de especies a utilizar en la mayoría de los climas, a reserva de verificar las que son endémicas del lugar donde se vaya a instalar el sistema naturado, y por supuesto las condiciones climáticas de la zona.

Cabe mencionar, que otros estudios de desarrollo de especies de plantas a utilizar en azoteas verdes se tenían buenos resultados durante un año aproximadamente, y después de eso dejaban de tener un buen desarrollo y morían.<sup>74</sup>

Si se identifica y diagnostica de manera correcta un problema en la vegetación, nos facilitará su solución. No existe área ajardinada en que las plantas no sean invadidas por las plagas, independientemente del tamaño de esta. El menor daño que pueden sufrir algunas plantas es en su aspecto, pero si el problema no es atendido, puede llegar a afectar su desarrollo, incluso su floración y producción de frutos, si es el caso. En otras ocasiones, ya sean las plagas o las enfermedades, dejan heridas que pueden ser la entrada a organismos devastadores. Pero además de identificar las plagas y/o enfermedades en tiempo y de la aplicación del tratamiento adecuado, el mejor de control de plagas es el preventivo, como ya lo hemos mencionado, el conocimiento de cómo mantener sana a la planta empieza desde la selección y su cultivo.

Como resultado de la revisión bibliográfica para poder desarrollar cada uno de los componentes a considerar en la implementación de un sistema de naturación, podemos decir de manera segura, que aún hay mucho por investigar respecto al tema. Dada la naturaleza de los sistemas

<sup>73</sup> Cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz del planeta.

<sup>74</sup> Azotea verde de la Facultad de Arquitectura del Paisaje, instalada por la Dra. Rocío López.



de naturación, es decir, lograr las condiciones idóneas para el desarrollo de la vegetación, es que muchas de las investigaciones son a través de la experimentación, por lo que llevan un tiempo considerable para poder obtener resultados, y si estos no son los adecuados, se debe empezar de nuevo las pruebas.

Por lo anterior, y para corresponder con la estrategia de investigación empírica, del estudio se desprenden líneas futuras de investigación, proponiendo problemas específicos que podrán estudiarse acerca del diseño de espacios naturados.

Quedando las siguientes líneas propuestas:

- Derivado del componente socioeconómico, aspecto de la Función (3.5), que puede ser “Producción de alimentos (hortalizas)” y dada la creciente escases de alimentos cultivados de manera natural, es decir, sin tantos conservadores ni fertilizantes en exceso, se puede investigar el cultivo de verduras y vegetales, los llamados huertos, ya sean comunitarios o privados. El MCM serviría de guía.
- Del componente socioeconómico, aspecto Costos (3.7), para determinar si son elevados o no, se puede trabajar con costo-beneficio contra alguna de las Funciones por la que se instala el sistema de naturación que son: térmico, estético, acústico, captación de aguas pluviales, recreativo, académico/didáctico etc. Pudiendo determinar su “valor” o su costo y determinar incluso si es viable su instalación, al menos en el aspecto económico.
- El modelo conceptual metodológico MCM del presente estudio, tiene potencial para convertirse en metodología si se trabaja para establecer interrelaciones entre los componentes.
- Al investigar para desarrollar los aspectos a considerar en el mantenimiento de espacios naturados, se encontró muy en particular que para el riego, a pesar de haber suficiente y detallada información, esta es para cultivos, huertos y hortalizas, no así para los espacios naturados, así que en el presente estudio el programa de riego se propuso a manera de sugerencia en base a los requerimientos de las especies de plantas propuestas. Ya que para el riego se requiere determinar la frecuencia, horario y duración. Para la frecuencia incluso, se debe medir la humedad de la tierra.
- Muy en lo personal, me interesa investigar respecto al mantenimiento de espacios naturados en azoteas planas, ya que, dependiendo de la Función de este, el uso de la azotea, la selección de especies de plantas y la selección de sustrato, determinan el tipo de mantenimiento que se requiere. En el presente estudio se tomó en cuenta para el

mantenimiento, tres aspectos principalmente: riego, poda y control de plagas, pero hay otro aspecto importante a considerar, la fertilización, aquí también hay medidas exactas para cultivos la cantidad y el tiempo, pero no específicos para sistemas de naturación.

La aportación de esta tesis es el MCM, que al aplicarlo se convierte en una herramienta para quien se interese en diseñar e implementar un espacio naturado.

Cabe mencionar que la propuesta del MCM, es una primera aproximación teórico-práctica, que demostrará la viabilidad de su desarrollo y el valor que puede tener el tipo de herramientas que se propuso.

Además, el MCM solo se ha aplicado de momento, para valorar su utilidad para descubrir componentes dentro de un proyecto.

Al existir una norma ambiental para naturación de espacios, se realiza una comparación entre la norma y el MCM propuesto para establecer las áreas de oportunidad y deficiencias de ésta respecto a lo establecido en la investigación.

La norma<sup>75</sup> establece los criterios o especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad estructural, aplicables en la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal. Su enfoque es completamente constructivo.

El MCM es el resultado de una investigación sistémica, y muy en particular, de la exploración e identificación de los fundamentos teóricos y tecnológicos acerca de los sistemas de naturación que proporcionaron el conocimiento necesario para poder diseñar, desarrollar e implementar un sistema de naturación en las azoteas.

La norma no contempla:

- Datos de clima, sobre todo de precipitación pluvial, para establecer los períodos de riego por zonas y posibilidades de captación de agua.
- Las funciones de cada elemento que conforman el sistema.
- Los estímulos fiscales ni los de tipo ambiental como son: el de excelencia y eficiencia.
- El ámbito social, como es la aceptación, la función y los costos.

Sin embargo, es una oportunidad de consultar ambos documentos para la instalación de azoteas verdes con una mayor oportunidad de éxito en los sistemas de naturación.

---

<sup>75</sup> Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007.

Es importante resaltar que durante el desarrollo de la investigación de cada componente del modelo metodológico, se pudo observar que hay información suficiente pero no específica para espacios naturados, lo más específico que se encontró, fue para invernaderos.

Si existe una tendencia hacia la implementación de espacios naturados en azoteas, concluyo que se debe seguir investigando respecto a la implementación de estos.

## Bibliografía

---

Anon., 2011. [http://es.wikipedia.org/wiki/Casa\\_comunal](http://es.wikipedia.org/wiki/Casa_comunal). [En línea]  
[Último acceso: Julio 2011].

Anon., 2012. *Wikipedia, La enciclopedia libre*. [En línea]  
Available at: <http://es.wikipedia.org/wiki/Islandia>  
[Último acceso: 10 Junio 2012].

Anon., s.f. s.l.:s.n.

Bold, H. C., 1967. *El reino vegetal*. Segunda ed. México: Centro Regional de ayuda técnica .

Briz, J., 2004. *Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental*. Segunda ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

CONAFOVI. Comisión Naional de Fomento a la Vivienda, 2005. *Guía para el desarrollo de áreas verdes en desarrollos habitacionales*. Primera ed. México: CONAFOVI.

Corona, V. & Chimal, A., 2006. *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. Primera ed. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Diamond, J., 2006. *Colapso*. Primera edición ed. Barcelona: Random House Mondadon, S.A..

Dunnet, N. & Kingsbury, N., 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls*, Portlan, Oregón: Timber Press.

Falcón, A., 2007. *Espacios verdes para una ciudad sostenible*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Fuentes, V. A., 2004. *Clima y Arquitectura*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Fuentes, V. A. & Rodríguez, M., 2004. *Ventilación Natural. Cálculos básicos para la Arquitectura*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.

García, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Segunda ed. México: Universidad Nacional Autónoma Metropolitana.

García, E., 2001. *Paisajismo en las alturas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

- García, J. R. & Fuentes, V. A., 2005. *Viento y Arquitectura*. Primera ed. México, D.F.: Trillas.
- González, G., 2012. *Reflexiones del desarrollo local sostenible*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- Greenwood, P. & Halstead, A., 2002. *Enciclopedia de las plagas y enfermedades de las plantas*. Barcelona: Blume.
- Huntinton, E., 1927. *The Human Habitat*. Nueva York: Van Nostrand.
- Islas, M. d. I. Á. & González, O., 2014. *Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género Echeveria*. Primera ed. México, Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lilly, S. J., 1999. *Manual de Arboricultura*. Champaign Illinois: International Society of Arboriculture.
- López, R., 2010. *Naturación de Azoteas*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, R., Cabeza, A. & Meza, C., 2000. *Las trepadoras en el diseño de los espacios exteriores*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, R., Cabeza, A. & Meza, M. d. C., 2000. *Las trepadoras en el diseño de los espacios exteriores*. Primera ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez, M., 1979. *Catálogo de nombres vulgares y científicos de las plantas mexicanas*. Primera ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- Olgyay, V., 2008. *Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Primera ed. Barcelona: Gustavo Gili.
- Oliver, H., 1969. *Riego y Clima*. Primera ed. México-España-Argentina-Chile: Compañía Editorial Continental, S.A..
- Ozenda, P., 1982. *Les Végétaux dans la Biosphere*. Paris, Francia: Doin Éditeurs.
- Puppo, E. & Puppo, G. A., 1979. *Acondicionamiento natural y Arquitectura*. 2a. ed. Barcelona, España: Marcombo, S.A..

Reyes, J., Islas, M. d. I. Á. & González, O., 2014. *Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género Echeveria*. Primera ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rodríguez, M., 2008. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México, D.F.: Limusa.

Rudofsk, B., 1964. *Architecture without architects*. Primera edición ed. N.Y.: Museum of Modern Art New York.

Saldivar V., A. y otros, 1998. *de la economía ambiental al desarrollo sustentable*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Serra, R., 1999. *Arquitectura y Climas*. Primera ed. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Snodgrass, E. C. & McIntyre, L., 2010. *The green roof Manual*. Portland, London: Timber Press, Inc..

Urbano-López, B., 2013. Naturación urbana, un desafío a la urbanización. *Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), pp. 225-235.

Villalba, S., 2005. *Plagas y enfermedades de jardiness*. Madrid: Mundi Prensa.

Werthmann, C., 2007. *Green roof: a case study*. Primera ed. New York: Princeton Architectural Press.

Whiteman, C. D., 2000. *Metereología de Montaña: Fundamentos y Aplicaciones*. Oxford: Oxford University Press.

Winter, E. J., 1979. *El agua el suelo y la planta*. Primera ed. México: Diana.

## Ilustraciones

---



|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Componentes a considerar para el diseño de un espacio naturado .....   | 9  |
| Figura 2 Hombre cavernícola (Homo sapiens arcaico). Fuente: Senosiain, 1996.....  | 14 |
| Figura 3 Imagen de la sala principal de las cuevas de Altamira en España.....   | 14 |
| Figura 4 Hombre Neandertal utilizando la vegetación como refugio. Fuente: Senosiain, 1996 .....   | 14 |
| Figura 5 Túmulo del Neolítico de Anglesay, .....  | 15 |
| Figura 6 Patio de vivienda troglodita en China .....  | 16 |
| Figura 7 Vivienda troglodita en Matmata, Túnez .....  | 16 |
| Figura 8 Ejemplo de vivienda semienterrada encontrada en Escocia .....  | 17 |
| Figura 9 Zigurat de la antigua Mesopotamia. ....  | 17 |
| Figura 10 Zigurat de Kashan, el más antiguo. Irán. Fuente: <a href="http://www.nationalgeographic.com">www.nationalgeographic.com</a> ..... | 18 |
| Figura 11 Jardines Colgantes de Babilonia .....   | 18 |
| Figura 12 Mausoleo de Adriano en Roma, Italia .....   | 19 |
| Figura 13 Mausoleo de Augusto en Roma, Italia.....  | 19 |
| Figura 14 Vivienda Yaodong, China .....   | 20 |
| Figura 15 Vivienda Burdei, Grubenhaus, Ucrania .....  | 20 |
| Figura 16 Casa Comunal.....   | 20 |
| Figura 17 Casa Maya, Yucatán, México.....   | 21 |
| Figura 18 Paquimé, Casas Grandes, Chihuahua, México.....  | 21 |
| Figura 19 Típicas casas islandesas .....  | 24 |
| Figura 20 Esquema de sistema constructivo en planta .....   | 25 |
| Figura 21 Detalle constructivo .....  | 25 |
| Figura 22 Sistema estructural "Domino" creado por Le Corbusier .....  | 26 |
| Figura 23 Casa Citrohan I que incluye la terraza-jardín en el solárium .....  | 27 |
| Figura 24 Casa Citrohan versión V .....   | 27 |
| Figura 25 Plantas arquitectónicas de la casa Citrohan V .....   | 28 |
| Figura 26 Terraza con macetas. Hipódromo Condesa, México.....   | 28 |
| Figura 27 Casa orgánica del Arquitecto Javier Senosiain .....   | 29 |
| Figura 28 Sistema de naturación. EP.....  | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29 Clasificación de cubiertas según su uso, tratamiento y peso .....  | 34 |
| Figura 30 Sistema de naturación en Alemania, de los primeros países en implementarlos .....                                      | 35 |
| Figura 31 Sistema de naturación en Chicago, pretende ser la ciudad más verde de USA. Foto: De Tony The Tiger, CC BY-SA 3.0 ..... | 36 |
| Figura 32 Sistema de naturación en Portland .....  | 36 |
| Figura 33 Sistema de naturación en Toronto, azotea del Ayuntamiento .....  | 36 |
| Figura 34 Sistema de naturación en Tokio. Techo en verde en estación .....   | 37 |
| Figura 35 Hotel Regina, Los Cabos. Se implementó vegetación en la azotea de la cocina. Foto: SIGGYOO2 y L ALLAN YAKE .....       | 38 |
| Figura 36 Escuela Preparatoria "Ricardo Flores Magón" .....  | 40 |
| Figura 37 Glorieta del metro Insurgentes .....   | 40 |
| Figura 38 Museo de Historia Natural en la 2a. Sección del Bosque de Chapultepec.....   | 40 |
| Figura 39 Hospital "Dr. Belisario Domínguez" .....   | 40 |
| Figura 40 Escuela Secundaria "Cinco de Mayo" .....   | 41 |
| Figura 41 Escuela Preparatoria "Felipe Carrillo Puerto" .....  | 41 |
| Figura 42 Corporativo HSBC, Paseo de la Reforma, colonia Cuauhtémoc.....   | 41 |
| Figura 43 El Acantilado, Zapopan Jalisco. ....   | 41 |
| Figura 44 Grupo Wall Mart, Superama Polanco.....   | 42 |
| Figura 45 Plaza Central, colonia Central de Abasto.....  | 42 |
| Figura 46 Sistemas de naturación como estrategias de confort térmico. EP .....   | 44 |
| Figura 47 Esquema de los componentes del MCM organizados para su investigación. (EP) .....                                       | 48 |
| Figura 48 Elementos del Componente Socioeconómico. (EP).....   | 50 |
| Figura 49 Barrio de Kreuzberg, Berlín. Antes y después de su recuperación. ....  | 53 |
| Figura 50 Clasificación de las cubiertas según su peso .....   | 65 |
| Figura 51 Elementos del Componente Ambiental. (EP) .....   | 68 |
| Figura 52 Clasificación climatológica mundial según Wladimir Köppen .....  | 69 |
| Figura 53 Clasificación climatológica. Descripción, basada en (Rodríguez, 2008) .....  | 69 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 54 Clasificación climatológica de México. Modificación E. García (Rodríguez, 2008). (EP).....  | 70  |
| Figura 55 Clasificación climatológica de México. Basada en Olgyay, Givoni y Szokolay. (EP) .....  | 70  |
| Figura 56 Esquema de planta como estación meteorológica. Imagen: Imagen de López Vivero Isaura Elisa y Zermeño Llanes Minerva Abigail ..... | 71  |
| Figura 57 Umbral de crecimiento de las plantas según la Altitud. Imagen: Dra. Esperanza García López. Mayo 2011 .....                       | 72  |
| Figura 58 Vegetación en localidades costeras. Fotografía del Biólogo Especialista Héctor Lara Kimura. ....                                  | 73  |
| Figura 59 Esquema básico de las partes de una raíz típica .....   | 74  |
| Figura 61 Componente Tecnológico. (EP) .....  | 80  |
| Figura 60 Elementos del Componente Tecnológico. (EP).....   | 80  |
| Figura 62 Clasificación de las cubiertas según su uso, en base a la NADF-013-RNAT-2007. (EP) .....  | 82  |
| Figura 63 capas que conforman el suelo .....  | 83  |
| Figura 64 Ejemplo de preparación de sustrato.....   | 84  |
| Figura 65 Componentes del Sustrato, basada en (López, 2010). (EP) .....   | 85  |
| Figura 66 beneficios que le aporta cada elemento nutriente a la planta .....  | 86  |
| Figura 67 Clasificación según su Forma Biológica. (López, et al., 2000, pp. 9, 10). ....  | 88  |
| Figura 68 Aspectos físicos a considerar para la selección de vegetación.....  | 90  |
| Figura 69 Requerimientos de diseño a considerar para la selección de vegetación .....   | 91  |
| Figura 70 Especies sugeridas por el Biólogo P. Jerónimo Reyes .....   | 94  |
| Figura 71 Propagación de las especies del género Echeveria de la familia de las Crasuláceas, basada en (Reyes, et al., 2014) (EP) .....     | 95  |
| Figura 72 Clasificación de Impermeabilizantes según su uso, basada en (Briz, 2004). (EP) .....  | 98  |
| Figura 73 Membranas recomendadas para cubiertas vegetales, basada en (Anon., s.f.). (EP) .....  | 99  |
| Figura 74 Capa drenante, retira el agua sobrante del sustrato vegetal.....  | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 75 Capas auxiliares para el protección de la capa impermeabilizante anti-raíz  | 105 |
| Figura 76 Tipos de Riego en base a la cantidad de agua, basada en (Lilly, 1999). (EP)   | 109 |
| Figura 77 Tipos de aspersores, basada en (Falcón, 2007). (EP)   | 110 |
| Figura 78 Tipos de Riego, basada en (Falcón, 2007). (EP)  | 111 |
| Figura 79 Factores dañinos para la vegetación. Bióticos y Abióticos, basada en (López, et al., 2000). (EP)  | 113 |
| Figura 80 Factores bióticos y abióticos de daño a la vegetación   | 114 |
| Figura 81 Tipos de plantas no deseadas. (Villalba, 2005, p. 26)   | 115 |
| Figura 82 Croquis de la Unidad Azcapotzalco para ubicación de espacios a naturar  | 122 |
| Figura 83 Modelo Conceptual Metodológico MCM, para la implementación de un sistema de naturación en una azotea. (EP)                                    | 124 |
| Figura 84 Datos climáticos normativos e ingresados en la hoja de cálculo desarrollada por el Dr. Víctor Fuentes Freixanet, para el periodo de 1980-2010 | 131 |
| Figura 85 Clasificación del clima según Köppen modificado por E. García.  | 132 |
| Figura 86. Gráfica de Temperatura para la zona de estudio.  | 133 |
| Figura 87. Gráfica de Humedad para la zona de estudio.  | 133 |
| Figura 88. Gráficas de Precipitación y evaporación para la zona de estudio.   | 134 |
| Figura 89. Índice ombrotérmico para la zona de estudio.   | 135 |
| Figura 90. Gráfica de Días grado donde se muestran los requerimientos de calentamiento y enfriamiento para la zona de estudio.                          | 135 |
| Figura 91. Gráficas de Radiación Solar para la zona de estudio.   | 136 |
| Figura 92. Gráfica de la velocidad del viento para la zona de estudio.  | 137 |
| Figura 93. Gráfica de temperaturas horarias.  | 138 |
| Figura 94. Gráfica de Humedad horaria.  | 139 |
| Figura 95. Gráficas de radiación solar. Radiación solar máxima total, Radiación máxima directa y Radiación máxima difusa, respectivamente.              | 140 |
| Figura 96 Datos de viento, dirección, frecuencia y velocidad.   | 140 |
| Figura 97 Gráficas de viento para cada mes del año.   | 141 |
| Figura 98 Gráfica anual de viento   | 142 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 99. Gráficas estereográficas. ....   | 143 |
| Figura 100 Gráfica Psicrométrica para el primer semestre del año.....   | 144 |
| Figura 101 Gráfica Psicrométrica para el segundo semestre del año .....   | 145 |
| Figura 102.- Triángulo de confort de Evans. ....  | 146 |
| Figura 103 Triángulo de confort de Evans. Zonas de estrategias. ....  | 147 |
| Figura 105 Justificación para implementación de un sistema de naturación según el tipo de clima. (EP).....                                      | 149 |
| Figura 104 Climas de México según INEGI.....  | 149 |
| Figura 106 Especificaciones básicas de las capas que componen el sistema. Información obtenida de las fichas técnicas. Elaboración propia ..... | 153 |
| Figura 107 Programa de mantenimiento para la vegetación. (EP).....  | 155 |

## **Apéndice A**

---

**Glosario**

## A

**Absorción:** *Fís.* Dicho de un cuerpo: Amortiguar o extinguir las radiaciones que recibe.

**Ácido nítrico:** Líquido viscoso y corrosivo que puede ocasionar graves quemaduras en los seres vivos.

**Ácido sulfúrico:** Compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es  $H_2SO_4$ . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países.

**Acústico:** Perteneciente o relativo al órgano del oído.

**Agrolita:** Sustrato de origen mineral a partir de perlita expandida.

**Aireación:** Acción de airear o ventilar una cosa o lugar.

**Albedo:** Porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates.

**Alelopatia:** Fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos.

**Alquitrán:** Líquido viscoso, de color oscuro y olor fuerte, que se obtiene de la destilación de maderas resinosas, carbones, petróleo, pizarras y otros materiales.

**Árida:** Seco, estéril, de poco jugo y humedad.

**Antrópicas:** Cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz del planeta.

**Antropogénicas:** Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

**Autóctona:** Que tiene su origen el mismo lugar en el que se encuentra.

## B

**Barlovento:** Parte de donde viene el viento con respecto a un lugar o a un edificio. Cara frontal de un edificio que recibe la incidencia del viento (presión positiva).<sup>76</sup>

**Bauhaus:** Escuela de artesanía, diseño, arte y arquitectura fundada en 1919 por Walter Gropius en Weimar (Alemania) y cerrada por las autoridades prusianas en manos del Partido Nazi.

**Bioclima:** Cada uno de los tipos de clima que se distinguen atendiendo al complejo de factores climáticos que afectan al desarrollo de los seres vivos.

**Biomasa:** Materia orgánica producida por los seres vivos como consecuencia de sus actividades vitales. Suma de la masa total de organismos vivos que habitan en una zona determinada.

**Biseca:** Que divide en dos partes iguales.

**Bráctea:** Hoja modificada en su forma, tamaño y color. Se ubica en la proximidad de las flores o inflorescencias. Su función principal es proteger a las flores.

---

<sup>76</sup> (Fuentes & Rodríguez, 2004)

## C

**Caducifolio:** Árbol y planta de hoja caduca: las caducifolias pierden sus hojas en otoño.

**Carga muerta:** Es aquella que mantiene constante magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de la carga muerta es el peso propio de la estructura.

**Carrizo:** Planta parecida a la caña, pero con el tallo más delgado y menos alto, crece cerca del agua.

**Clorofila:** Pigmento de color verde que se halla en las plantas, en la mayoría de las algas y en numerosas bacterias. Interviene en el proceso de la fotosíntesis.

**CO<sub>2</sub>:** El dióxido de carbono es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (Partes por millón).

**Combustión:** Acción y efecto de arder o quemar.

**Condensación:** Paso de una sustancia del estado gaseoso al líquido o sólido (vaporización).

**Confort:** Estado psico-fisiológico bajo el cual la mayoría de los usuarios de un espacio manifiesta satisfacción con el medio ambiente que les rodea.<sup>77</sup>

## D

**Desecación:** Pérdida o eliminación de la humedad o el líquido, generalmente agua, que contiene algo. Especialmente en materia vegetal.

**Director Responsable de Obra (DRO):** Persona física que asume la responsabilidad y obligaciones conferidas por los reglamentos y normativas de construcción y seguridad empleados en los diseños estructurales. En esencia es quien avala con su experiencia, ética y firma que un proyecto cumpla con los requerimientos de seguridad y servicio de la estructura en base a los reglamentos ya existentes.

**Diversidad:** Abundancia y unión de cosas o personas distintas.

## E

**Ecológica:** Relativo a la ecología. Que respeta el medio ambiente. Elemento que no daña al medio ambiente.

**Ecosistema:** Sistema biológico que se compone de un conjunto de seres vivos, el medio natural en que se desarrollan y las relaciones que se establecen entre sí.

**Ecotecnología:** Conjunto de técnicas aplicadas, derivadas de algunas ciencias, que integran los campos de la ecología y la tecnología. Teniendo como objetivo, satisfacer las necesidades humanas minimizando el impacto ambiental.

**Edafología:** Ciencia que trata de la naturaleza y condiciones de los suelos en su relación con los seres vivos.

---

<sup>77</sup> (García & Fuentes, 2005)



**Elementos del clima:** Propiedades físicas de la atmósfera que están en cambio continuo, y que interactúan entre sí en la capa inferior de esta, llamada tropósfera. Los elementos: Temperatura, Humedad, Precipitación, Viento, Presión atmosférica, Radiación, Nubosidad.

**Endémica:** Se dice de las especies vegetales y animales de área restringida, que son oriundas del país donde se encuentran y solo se encuentran en él.

**Enfermedad:** El término agrupa los efectos de organismos tales como hongos, virus, bacterias y fitoplasmas, responsables, directa o indirectamente de perturbaciones en el metabolismo de las plantas (agentes patógenos).<sup>78</sup>

**Enzimáticas:** Relativo a las enzimas. Proteína orgánica soluble, que provoca o acelera una reacción bioquímica.

**EP:** Significa elaboración propia.

**Erosión:** Alteración de la superficie de la Tierra por la acción de agentes externos, como las lluvias, el viento o las olas del mar.

**Esqueje:** Tallo o brote de una planta que se emplea para injertarlo en otra o para plantarlo en el suelo con el fin de que eche raíces y nazca una nueva planta.

**Estación meteorológica:** Instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

**Estado saturado:** A capacidad máxima de agua.

**Estival:** Del estío o verano o relacionado con esa estación del año.

**Estoma:** Pequeños orificios o poros de las plantas, se localizan al reverso de las hojas.

**Evaporación:** Paso del estado líquido al estado de vapor de una sustancia.

## F

**Factores climáticos:** Son las condiciones físicas que identifican a una región o un lugar en particular, y determinan su clima.

**Fanerógamas:** Grupo de plantas con los órganos reproductores visibles. Son plantas provistas de flores, órganos y tejidos.

**Fisiológicas:** Relativo a la fisiología. Parte de la biología que estudia las funciones orgánicas por medio de las cuales se manifiesta la vida y que aseguran el mantenimiento de la vida individual.

**Fotosíntesis:** Proceso metabólico que tiene lugar en las células con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.

## H

**Hidrológico:** De la hidrología o relacionado con ella. Ciencia que estudia las propiedades, la distribución y la circulación del agua en la superficie de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera.

---

<sup>78</sup> (Villalba, 2005)

**Higrotérmico:** Se refiere a la ausencia de malestar térmico. En fisiología, cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con una indumentaria ligera. Esta situación puede registrarse mediante índices que no deben ser sobrepasados para que no se pongan en funcionamiento los sistemas termorreguladores (metabolismo, sudoración y otros).

**Horticultura:** Parte de la agricultura que se ocupa del cultivo de las plantas de huerta.

## I

**Impermeabilidad:** Cualidad de impermeable. Se dice del cuerpo que no puede ser atravesado por la humedad o un líquido.

**Implicancias:** Consecuencia, secuela. Contradicción entre términos. Incompatibilidad moral o legal para tomar una decisión justa.

**Imprimación:** Preparación de una superficie que se ha de pintar o teñir con los ingredientes necesarios.

**Inertes:** Que no tiene movilidad o no tiene vida. Se aplica a la sustancia o materia que carece de la capacidad de provocar reacciones químicas.

**Insolación:** Cantidad de radiación solar directa incidente por unidad de superficie y durante de un periodo de tiempo determinado.

**Isla de calor:** Situación urbana de acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón y demás materiales absorbentes de calor. Se presenta en las grandes ciudades y consiste en la dificultad de la disipación del calor durante las horas nocturnas.

## L

**Lanceoladas:** Hoja que tiene la forma del hierro o la punta de una lanza.

**Luminosidad:** Calidad de luminoso. Potencia total irradiada por un astro, considerada la totalidad del espectro electromagnético y en todas la dimensiones.

**Lixiviación:** Proceso de empobrecimiento que sufre el suelo por efecto de la excesiva infiltración y percolación de aguas lluvias o de riego, perdiendo con esto parte de sus nutrientes.

## M

**Macro clima:** Es la homogeneidad relativa que se manifiesta en los factores climáticos en los mismos niveles atmosféricos, sobre una región de muchos millares de kilómetros cuadrados de extensión. Entendiéndose como homogeneidad relativa la ausencia de divergencias de mayor grado entre los principales factores climáticos. .

**Membrana:** Del latín *membrāna*, una membrana es una piel delgada a modo de pergamino, un tejido que presenta forma laminar y que tiene consistencia blanda o una placa o lámina de pequeño espesor y flexible.

**Mesófilo:** Tejido que se encuentra entre la epidermis superior e inferior. Adjetivo que hace referencia a los organismos vegetales que se desarrollan en condiciones medias de temperatura y humedad.

**Micro clima:** Es un clima local de características distintas a las de la zona en que se ubica. El microclima es un conjunto de patrones y procesos atmosféricos que caracterizan un entorno o ámbito reducido.

**Mitigar:** Disminuir la intensidad, la gravedad o la importancia de algo. Moderar o suavizar

**Morfológico:** Relativo a la morfología. Parte de la biología que estudia la forma y la estructura de los seres vivos.

## N

**Nativos:** Relativo o perteneciente al país o lugar de que se trata.

**Naturación:** Es un tratamiento técnico a base de vegetación, la cual es adaptada en superficies edificadas, ya sean horizontales, verticales o inclinadas. Por medio del cual se incorporan capas de sustrato y vegetación.

**Nomófila:** Cada una de las hojas normales de una planta.

## O

**Odorífico:** Que despidе olor, especialmente si es agradable.

## P

**PH:** Variable utilizada para indicar el grado de acidez o basicidad de una disolución acuosa; generalmente se mide en una escala numérica.

**Perennación:**

**Perlita:** Es un vidrio volcánico que tiene un contenido de agua relativamente alto. Es un mineral que aparece en la naturaleza, y tiene la propiedad poco común de expandirse muchísimo cuando se la calienta lo suficiente.

**Permeable:** Que puede ser atravesado por un líquido, especialmente por el agua.

**Plusvalía:** Incremento o aumento de valor en una cosa, especialmente terrenos o valores inmobiliarios sin que se produzcan cambios en ella.

## R

**Radiación celeste:** Es la radiación difusa recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor.

**Rizoma:** En Biología, es un tallo subterráneo con varias yemas que crecen en forma horizontal emitiendo raíces y brotes de sus nudos.

## S

**Saturación:** Acción y efecto de saturar o saturarse. Estado de una cosa que ocupa o usa un espacio por completo o se llena en exceso.

**Sistémica:** Relativo a un sistema tomado en su conjunto o al análisis de sistemas.

**Solárium:** Terraza o lugar preparado para tomar el sol.

**Sostenible:** Se dice del proceso que puede mantenerse por sí mismo, sin ayuda de otro. Se aplica al desarrollo o la evolución que es compatible con los recursos de que dispone una región, una sociedad, etc.

**Sotavento:** Parte o zona hacia dónde va el viento, opuesta al barlovento. Cara posterior a la incidencia del viento. (Presión negativa).<sup>79</sup>

**Sustentabilidad:** Equilibrio existente entre una especie con los recursos del entorno al cual pertenece. Es satisfacer las necesidades de la actual generación pero sin que por esto se vean sacrificadas las capacidades futuras de las siguientes generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

## T

**Taxonomía:** Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.

**Térmico:** Relativo al calor y a la temperatura.

**Termodinámico:** Que está relacionado con la termodinámica. Parte de la Física que se ocupa de las relaciones entre los fenómenos mecánicos y caloríficos.

**Termométricas:** Relativo al termómetro o a la termometría. Parte de la física que se ocupa de la medida de la temperatura.

**Tricoma:** Velloosidades de origen epidérmico de variadas formas.

**Tundra:** En las regiones de clima frío, formación vegetal discontinua, que comprende gramíneas (plantas de tallo cilíndrico con flores agrupadas en espigas y grano seco), líquenes (organismos formados por la simbiosis de un hongo y un alga) y algunos árboles enanos.

**Turba:** Carbón que se produce en lugares húmedos por la descomposición de restos vegetales; es un combustible de poco valor energético.

## U

**Urbanita:** Se aplica a la persona que ha nacido o que vive en una ciudad.

## V

**Vermiculita:** Mineral del grupo de los silicatos (sal formada a partir de un ácido del silicio y una base). Cualquiera de los filosilicatos de magnesio, hierro y aluminio con agua e hidroxilos.

**Viabilidad:** Posibilidad de llevarse a cabo un plan o proyecto.

## X

**Xerófito:** (Xerófilo) Planta o asociación vegetal adaptada a la vida en un medio seco.

## Y

**Yema:** En botánica, un órgano complejo de las plantas que se forma habitualmente en la axila de las hojas. Formado a modo de botón escamoso que dará lugar a hojas y flores.

---










<sup>79</sup> (Fuentes & Rodríguez, 2004)








## **Apéndice B**

---

**Anexos**







**Anexo 1.** Paleta vegetal con las especies sugeridas por el Dr. Jerónimo Reyes

| Fam.                       | Nombre Científico                    | Nombre Común                                    | Origen                                 | Descripción  | Floración        | Riego  | Cultivo  | Imagen  |
|----------------------------|--------------------------------------|---|--|--|------------------|--|--|---|
| Crassulaceae (Crasuláceas) | <i>Sedum pachyphyllum</i>            | Dedos   | Oaxaca, México                         | Planta carnosa, compacta, erecta que alcanza 20-25 cm.   | En primavera     | Una vez por semana en primavera y verano y una vez al mes durante el invierno  | Luz de sol. Resiste -3°C. Abonar ocasionalmente en verano. Propagación por esquejes de hojas o de tallo, en verano.                          |    |
|                            | <i>Sedum dendroideum</i>             | Lágrima de María Siempreviva                    | México                                 | Forma de un pequeño árbol. De 30 a 50 cm. de altura con tallos quebradizos, carnosos y gruesos, con abundante jugo.  |                  |  | Climas semicálido, semiseco y templado.  |    |
|                            | <i>Sedum moranense</i>               | Cardoncillo, Chismes, Jaspalache, Xalache       | México                                 | De hasta 20 cm de largo. Tallo muy ramificado, tornándose de color café o gris-rojizo. Hojas muy abundantes, gruesas y carnosas.   | Primavera        | De requerirlo, puede ser en verano.  | Sol directo. Puede vivir en suelos muy delgados y bien drenados. No requiere fertilización.  |    |
|                            | <i>Sedum griseum</i>                 |   | Michoacán, Guanajuato, Jalisco. México | Hojas lineales, rama papilosa, flores blancas. Tallos con corteza de color gris - marrón que se desprende en capas delgadas.   |                  |  | Soleado a medio soleado. Resiste 6°C. Sustrato moderadamente húmedo.   |    |
|                            | <i>Sedum rubrotinctum</i>            | Dedos, Sedo rojo, Sedum rojo, Alegría de Pascua | México                                 | Pequeña suculenta muy decorativa, rastrera, de unos 20 cm de alto. Hojas en forma de piñón, de unos 2 cm de largo, de color verde vivo brillante, que se tiñen de un bello rojo bronceado con el sol del verano. | Primavera        | Una vez a la semana en primavera y verano  | Sol como sea posible. Resiste -3°C. Prospera en terrenos bien drenados. Propagación por esquejes, terminada la floración.                    |   |
|                            | <i>Graptofedia "Darley Sunchine"</i> |   | México                                 | Suculenta tiene hojas de color verde con puntas rojas gruesas que giran en torno a una roseta.   |                  | Mínimo.  | Sol a parcialmente sombreado. No se recomienda plantar en recipiente. Resiste 0°C. Plagas, vigilar los pulgones, cochinillas y ácaros araña. |  |
|                            | <i>Graptusedum "Vera Higgins"</i>    |   | México                                 | Pequeña suculenta de follaje color rojizo - bronce. Hojas 1 pulgada de largo, planas en la superficie superior. Soporte espiral alrededor del tallo con hojas en la punta dispuestas en una roseta.              | Primavera-Verano |  | Sol o Sombra. Resiste 0°C. Sustrato bien drenado.  |  |
|                            | <i>Graptopetalum paraguayense</i>    | Graptopétalo, Madreperla                        | México                                 | Suculenta con roseta de hojas (15-20 cm)   | No               | Abundante en verano. Mantenerlas secas en invierno pero no en un ambiente totalmente árido. Evitar que el agua moje las hojas. | Requiere grandes cantidades de luz, prefiriendo incluso el sol directo.  |  |
|                            | <i>Echevenia gigantea</i>            | Flor de hoja                                    | México, América del Norte.             | Es la mayor en tamaño de las especies del Género Echeveria. Crece sobre tallos que pueden llegar a 40 cm. de altura. Su diámetro puede alcanzar los 40 cm.   | Otoño-Invierno   |  | Sol directo hasta semi sombra pero bien iluminada. Proteger en Invierno. Evitar temperaturas frías extrema.                                  |  |

| Fam.                       | Nombre Científico           | Nombre Común                    | Origen  | Descripción   | Floración  | Riego  | Cultivo  | Imagen  |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|--|---|
| Crassulaceae (Crasuláceas) | <i>Echeveria gibbiflora</i> | Lengua de vaca                  | México, América del Norte   | Planta herbácea con los tallos carnosos de color rosa.<br>Las hojas en forma de roseta son carnosas, pruinosas y con apariencia cerosa.<br>Las flores son rosas.  | Primavera-Verano   | Requieren poco agua.   | Climas semi cálido a templado.<br>Suelo: pH Neutro, bien drenado, pobre, textura arenosa.<br>Abono anual.<br>Propagación por brotes nacidos junto a la planta madre, por esqueje de hojas y por semillas.  |    |
|                            | <i>Echeveria agavoides</i>  |                                 | México,<br>Pero también se pueden encontrar especies en Centroamérica y en el noroeste de Sudamérica. | Roseta de hojas gruesas que terminan en una punta de color rojizo.<br>Tallo muy corto 3-5 cm de altura, y 2,5-3 cm de diámetro.<br>Las hojas están en su punto más brillante desde el otoño hasta la primavera.   | Verano   | Con moderación en el periodo vegetativo.<br>En invierno el riego debe ser escaso   | Requiere de buena iluminación durante todo el año.<br>Tolera muy bien periodos de sequía,<br>Suelo poroso para drenado rápido.<br>Fácil de propagar separando los hijuelos que nacen alrededor de la planta. También es fácil propagarla mediante esquejes de hojas. |    |
|                            | <i>Echeveria elegans</i>    | Rosa de alabastro               | México  | Hojas gruesas de color azul pálido con márgenes blanco translúcido, dispuestas en forma de alcachofa.<br>Situadas sobre racimos de 10-25 cm de largo e inclinados hacia un lado.  |  | Moderado durante el período estival.<br>Nulo o casi nulo en invierno.<br>Se recomienda regar cuando el sustrato este seco en los 2,5 cm superiores.<br>Evitar mojar las hojas.   | Luz a semi sombra.<br>Resiste -4°C.<br>Tolera la sequía.<br>Requiere poco abono, una vez al mes diluido a la mitad, en primavera y verano.<br>Propagar por separación de retoños o esquejes de hojas a principios de verano.   |    |
| Cactáceas (Cactaceae)      | <i>Opuntia filas-indica</i> | Chumbera, tuna, nopal           | América, pero las hay (Excepciones) en África del Norte, países del Mediterráneo y Medio Oriente.     | Planta arbustiva, carece de hojas nomófilas.<br>Segmento espinoso (cladodio), de apariencia ovalada, a modo de hoja muy carnosas.<br>Gloquidios, <sup>1</sup> donde se arraciman las espinas alrededor de las areolas.  | Primavera.<br>Transformándose en tuna, higo o chumbo durante la estación cálida. |  | Capacidad de reproducir la estructura completa del cactus, por sí sola.<br>Se mantienen a condiciones normales de micro propagación de luz y temperatura.  |  |
|                            | <i>Opuntia joconostle</i>   |                                 |   | Plantas arborescentes de dos a tres metros de altura, con tronco bien definido, como de 20 cm de diámetro, grisá- ceo.<br>Ramificación abundante.<br>Pencas (Cladodios), pequeños, ovales, con espinas blancas.<br>Flor amarilla; fruto de pulpa ácida rosada, ligeramente perfumada. |  |  |  |  |
| Agavaceae (Agaváceas)      | <i>Agave attenuate</i>      | Ágave atenuado Ágave del dragón |   | Planta suculenta de unos 50 cm de longitud, hasta 1 m   | primavera y verano, después de la floración el pie muere                         | Escaso   | Sol  |  |
|                            | <i>Agave celsii</i>         | Sinónimos: Agave mitis          | México  | Especie de planta Fanerógama.<br>Forma una roseta de 30 cm de diámetro, hojas gruesas de color verde-azulado.   |  | Durante el período estival, por las tardes, después de la puesta de sol.<br>El agua debe estar a temperatura ambiente.<br>En invierno, regar por las mañanas, para dar tiempo a la evaporación y absorción durante en día. | Suelo ligero y permeable.<br>Reproducción por esqueje.<br>Resiste 0°C  |  |

<sup>1</sup> Pelos barbados delgados, generalmente invisibles, encontrados en las areolas de algunos cactus y otras plantas.



|            | Nombre Científico             | Nombre Común  | Origen  | Descripción   | Floración  | Riego  | Cultivo  | Imagen  |
|------------|-------------------------------|---|---|---|--|--|--|---|
|            | <i>Agave potatorum</i>        | Magüey de mezcal, Magüey mezcalero, Tobala            | México  | Forma una roseta muy proporcionada y regular de hasta 80 hojas con un color que puede ir del verde gris al blanco   |  | Tolerante a la sequía  | Sol  |    |
|            | <i>Agave angustifolia</i>     | Agave vivípara, “espadín”, “lechugilla” o “morginata” | México. Se ha naturalizado en diversas partes del mundo, como Sudáfrica | TRONCO corto y hojas lanceoladas de 120 cm de longitud y 10 cm de ancho, color verde pálido a gris y borde blanco. Cada hoja lleva una espina terminal de 3 cm de longitud.                                   |  |  |  |    |
|            | <i>Agave “variegata”</i>      | Aloe tigre, Pecho de perdiz                           | Cabo de Sudáfrica   | Mide entre 10 y 20 cm de ancho. Tiene marcas blancas en las hojas. Hojas triangulares, de color verde azulado   | Invierno-primavera   | Moderado durante los meses más cálidos, y casi nada en invierno  | Semisombra   |    |
| Nolinaceae | <i>Beaucarnea recurvata</i>   | Nolina, Beaucarnea, Pata de elefante, Bocarnea.       | México central  | Tienen un tallo muy grande, con el propósito de almacenar agua. En la naturaleza puede crecer hasta los 10 metros de altura con un aspecto leñoso. De crecimiento lento.                                      | Primavera, después de cumplir 10 años.                     | Debe ser de 15 días en primavera y verano (el sustrato debe estar seco entre riego y riego). En invierno una vez al mes. | Al aire libre en clima templado. Resistente hasta los 10° C. Crece a pleno sol y sombra parcial. Tolerantes a la sequía. Sustrato ligero y bien drenado. |    |
|            | <i>Dasyllirion acrotriche</i> | Cucharilla  | México  | Una especie medianamente grande. Tronco robusto de 1.5 m de altura. Gran corona de hojas tipo palma y espinosas de color verde amarillento.   |  | Cada cuatro días durante el primer mes.  | Requiere un lugar soleado. Sustrato bien drenado. Resistente a la sequía y a las heladas moderadas.  |   |
|            | <i>Nolina longifolia</i>      |   | Norteamérica. México, estados de Oaxaca y Puebla.                       | Especie de planta con rizoma. Se caracteriza por la prominencia en la base de la raíz. Hojas de color verde suave, sueltas, de 50 a 250 cm de largo por 1- 3 cm de ancho. Las hojas están finamente dentadas. | Finales del invierno, principios/mediados de la primavera. | Moderado en verano. Nulo en invierno.  | Sol a parcialmente sombreado. Resiste -8°C.  |  |

**Anexo 2. Memoria de cálculo del análisis y revisión de la estructura de los edificios donde se instalará el sistema naturado dentro del conjunto académico de la Universidad Autónoma Metropolitana “Unidad Azcapotzalco” ubicado en la delegación Azcapotzalco en el Distrito Federal.**

## **1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

### **Edificios existentes de oficinas administrativas:**

Dentro del complejo de edificios que integra la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, se encuentran las oficinas administrativas se encuentran alojadas en tres edificios, cuerpo central, cuerpo oeste y cuerpo este.

El edificio central es de forma cuadrada en planta de 63.6x 62.1 m por lado con un patio central de 20x20 m, el edificio consta de planta baja y tres niveles superiores, el patio central cuenta con una cubierto a base de estructura metálica hasta en nivel de azotea.

Los cuerpos este y oeste tienen la forma de “L” en planta de 26.0x9.50 m, lo integran planta baja y tres niveles superiores, fijados al cuerpo central por medio de elementos metálicos en cada uno de sus niveles.

Su estructura está resuelta a base de losas, trabes y columnas de concreto armado, con escaleras que dan servicio en cada uno de sus niveles, su cimentación se resolvió por medio de un cajón estanco.

De acuerdo a la información proporcionada para la presente revisión, el diseño de dos edificios y el reforzamiento de las columnas del tercer edificio fue realizada en el año de 1996, por lo que se puede considerar que cumplen con las disposiciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo y Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones.

Para las consideraciones de esta revisión estructural de los cuerpos este y oeste se tomaran en cuenta la carga adicional que contempla una azotea verde.

## **2. MARCO DE REFERENCIA PARA ELABORAR LA REVISIÓN DEL PROYECTO ESTRUCTURAL**

El proyecto estructural se revisará de acuerdo con la normatividad vigente en México, es decir, con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF2004 edición del 29 de

Enero del 2004), con las correspondientes Normas Técnicas Complementarias para estructuras de concreto y mampostería, particularmente con las Normas Complementarias de sismo, modificadas el día 6 de octubre del 2004 publicadas en la gaceta oficial del Distrito Federal, así también tomando en cuenta las normas de la Comisión Federal de Electricidad con la misma referencia, así también se tomaran en cuenta los criterios de diseño de las normas de la Comisión Federal de Electricidad.

### 3. CARGAS CONSIDERADAS

#### 3.1 Cargas permanentes muertas.

Las cargas permanentes muertas se deben al peso propio de la edificación, que se calcula de acuerdo con la geometría y el peso volumétrico de los materiales de los respectivos elementos estructurales.

Se obtienen de acuerdo con los siguientes valores para los diversos elementos:

#### 3.2 Losa de entrepiso

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Losa de concreto e= 15.0 cm  | =360.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Acabados                     | =120.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Instalaciones                | =20.00 kg/m <sup>2</sup>       |
| Plafón                       | =20.00 kg/m <sup>2</sup>       |
| Peso de muros divisorios     | =50.00 kg/m <sup>2</sup>       |
| <b>Por reglamento</b>        | <b>=40.00 kg/m<sup>2</sup></b> |
| Carga muerta de entrepiso    | =710.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Peso propio de la estructura | =150.00 kg/m <sup>2</sup>      |

El peso propio de estructura es considerado en la revisión del programa

#### 3.3 Losa de azotea

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Losa de concreto e= 15.0 cm  | =360.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Rellenos y acabados          | =250.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Instalaciones                | =20.00 kg/m <sup>2</sup>       |
| Plafón                       | =20.00 kg/m <sup>2</sup>       |
| <b>Por reglamento</b>        | <b>=40.00 kg/m<sup>2</sup></b> |
| Carga muerta de azotea       | =690.00 kg/m <sup>2</sup>      |
| Peso propio de la estructura | =50.00 kg/m <sup>2</sup>       |

### 3.4 Cargas permanentes vivas

Las cargas permanentes vivas se obtienen de acuerdo con el Art. 199 del RCDF. Los valores que le corresponden a la edificación se indican a continuación:

La carga viva máxima,  $W_m$  se emplea para el diseño estructural ante cargas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en el suelo, la carga viva instantánea  $W_a$ , se emplea para el diseño sísmico y la carga viva media,  $W$ , se emplea para el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas.

### 3.5 En losa de entrepiso (oficinas)

|                        |       |   |                          |
|------------------------|-------|---|--------------------------|
| Carga viva máxima      | $W_m$ | = | 250.00 kg/m <sup>2</sup> |
| Carga viva instantánea | $W_a$ | = | 180.00 kg/m <sup>2</sup> |

### 3.6 En azotea con pendiente menor al 5%.

|                        |       |   |                          |
|------------------------|-------|---|--------------------------|
| Carga viva máxima      | $W_m$ | = | 100.00 kg/m <sup>2</sup> |
| Carga viva instantánea | $W_a$ | = | 70.00 kg/m <sup>2</sup>  |

### 3.7 En pasillos y escaleras

|                        |       |   |                          |
|------------------------|-------|---|--------------------------|
| Carga viva máxima      | $W_m$ | = | 350.00 kg/m <sup>2</sup> |
| Carga viva instantánea | $W_a$ | = | 250.00 kg/m <sup>2</sup> |

### 3.8 Sobrecarga por azotea verde se considera como sigue:

Subdivisión del componente tecnológico. 4.1.1. Para edificios existentes será necesario realizar un análisis y evaluación estructural; además deberá ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente junto con el proyecto ejecutivo. Para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación será considerado como una carga muerta y el valor a tomar deberá corresponder con el indicado en la siguiente tabla:<sup>80</sup>

---

<sup>80</sup> Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007

| Tipo de naturación | Extensiva      | Semi-intensiva | Intensiva  |
|--------------------|----------------|----------------|------------|
| Carga adicional    | 110 -140 kg/m2 | 250 kg/m2      | >250 kg/m2 |

#### 4. CARGAS PARA ANÁLISIS POR SISMO

El método que se utiliza para cuantificar el efecto de las fuerzas sísmicas sobre los elementos estructurales de la edificación es el análisis estático ó dinámico tomando en cuenta el inciso 2 de las normas técnicas complementaria para sismo.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias de Sismo la edificación pertenece al Grupo A, con estructuración tipo II, con un factor de comportamiento sísmico  $C = 0.30$  por encontrarse en zona sísmica B de acuerdo a la regionalización sísmica de la Republica Mexicana de la Comisión Federal de Electricidad, con un factor de ductilidad  $Q = 2.0$

#### 5. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN

De acuerdo con el inciso 2 de las normas técnicas complementarias sobre criterio y acciones para el diseño de estructuras las fuerzas internas y las deformaciones producidas por las acciones se determinan mediante un análisis estructural con un método reconocido como se indica a continuación:

De acuerdo con el RCDF04, en su Capítulo 3, Criterios de Diseño Estructural, establece que “El factor de carga se determinará de acuerdo con las reglas siguientes:

- I. Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.4.a, se aplicará un factor de carga de 1.4 Cuando se trate de edificaciones del Grupo B, el factor de carga para este tipo de combinación se tomará igual a 1.5
- II. Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.3.b se considerará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación
- III. Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, el factor de carga se tomará igual a 0.9; además, se tomará como intensidad de la acción el valor mínimo probable de acuerdo con la sección 2.2 de estas normas.
- IV. Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

### **5.1 Análisis ante cargas verticales**

Las losas de concreto se analizaran con los métodos semi empírico indicados en el inciso 6.3 de las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de acero y tomando en cuenta las especificaciones del fabricante de la lámina de acero, las cargas de las losas se distribuyeron a los elementos de apoyo, trabes, atendiendo a su funcionamiento en una sola dirección.

El análisis de la estructura se realizó utilizando el programa de computadora llamado SAP2000 ver. 6.1 este es un programa que cumple las características indicadas en el Reglamento de Construcciones ya que está basado en el método de las rigideces.

### **5.2 Análisis ante cargas horizontales**

Para calcular las fuerzas horizontales en los diferentes niveles de la estructura se realizó el análisis sísmico estático que indican las Normas de sismo en su inciso 8.1, en este análisis se obtuvieron los pesos y masas de cada nivel y se aplicaron los factores de comportamiento y coeficiente sísmico indicados anteriormente.

## **6. DISEÑO ESTRUCTURAL**

El diseño estructural se realizó de acuerdo con el RCDF04 en su Capítulo 3, Criterios de Diseño Estructural, con atención a los estados límite de falla y los estados límite de servicio.

El cumplimiento de estos requisitos se comprobó con los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Concreto y Estructuras de Acero, se aplicaron en cada caso los factores de carga correspondientes a las distintas combinaciones de carga.

A continuación se describe el proceso de diseño de los diversos elementos estructurales de la superestructura.

### **6.1 Diseño de elementos de acero**

El diseño de trabes se hizo de acuerdo con los incisos 3.3.2 Flexión, 3.3.3 Fuerza cortante, de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero. Con base en las hipótesis descritas en el inciso 1.5.1 de las mismas normas se efectuó el diseño a flexión y a fuerza cortante de las trabes. Para cuantificar las capacidades de las trabes

se utiliza el valor de 0.9 para el factor de resistencia para la flexión y 0.80 para el valor del factor de resistencia para el cortante, de acuerdo con el inciso 1.6 de las Normas de Acero, en el dimensionamiento de trabes se efectuó la revisión de estados límite de servicio, según el inciso 3.3. de las Normas de Acero, las deflexiones inmediatas y diferidas serán menores a las máximas permisibles.

## **6.2 Revisión de elementos a flexo compresión.**

Toda sección sujeta a flexo compresión se dimensionará para la combinación más desfavorable de carga axial y momento flexionante incluyendo los efectos de esbeltez, el dimensionamiento puede hacerse a partir de las hipótesis generales de la sección 2.1, o bien con diagramas de interacción contruidos de acuerdo con ellas. El factor de resistencia, FR se aplicara a la resistencia a carga axial y a la resistencia a flexión.

De acuerdo con el Art. 189 del RCDF04 las fuerzas internas y las deformaciones producidas por las acciones se determinan mediante un análisis estructural con un método reconocido como se indica a continuación:

De acuerdo con el RCDF04 en su Capítulo III, Criterios de Diseño Estructural, el Art. 194 establece que: “El factor de carga se determinará de acuerdo con las reglas siguientes:

I. Para combinaciones de acciones clasificadas en la fracción I del Art. 188, se aplicará un factor de carga de 1.4, Cuando se trate de edificaciones del Grupo A el factor de carga para este tipo de combinación se tomará igual a 1.5.

II. Para combinaciones de acciones clasificadas en la fracción II del Art. 188 se considerará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación.

III. Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, el factor de carga se tomará igual a 0.9; además, se tomará como intensidad de la acción el valor mínimo probable de acuerdo con el Art. 187 de este Reglamento.

IV. Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

## 7. MATERIALES

Los materiales empleados para la construcción deberán cumplir con la Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, de la comisión federal de electricidad y las establecidas en la localidad de acuerdo con las siguientes especificaciones:

Concreto  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$

Refuerzo para el concreto  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

### OBJETIVO:

Determinar si la estructura es factible de utilizar sus losas de azotea como “azoteas verdes” por lo que se realizó el análisis estructural del edificio considerando las cargas indicadas en la memoria descriptiva de esta revisión, así como se muestra en las figuras en tercera dimensión obtenidas impresas del resultado del programa de computadora para su revisión, también se consideraron las combinaciones de carga correspondientes para una estructura de estas características reflejadas en la memoria de análisis de la computadora.

### 1. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA:

Para la evaluación estructural se realizó en base a los planos estructurales proporcionados para este fin, donde se consideró un edificio de tres niveles más planta baja con altura entre losas de cada nivel de 3.25 m, de forma irregular en planta, estructurado a base de losas de 15 cm de espesor apoyadas sobre trabes rectangulares principales y secundarias de 60x30 cm 45x20 cm en ambas direcciones apoyadas sobre columnas de 70x70 cm, toda la estructura fue resuelta a base de concreto armado con una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, su cimentación fue resuelta a base de un cajón estanco desplantado a 2.5 m por abajo del nivel de planta baja.

### 2. EVALUACION ESTRUCTURAL:

Realizado el análisis de la estructura con la nueva disposición de cargas, para una estructura con azoteas verdes se concluye lo siguiente:

- a) Las losas no presentan deformaciones que pongan en riesgo su estabilidad estructural.
- b) Trabes en azotea cuentan con el armado adecuado al requerido para una nueva losa con azoteas verdes.
- c) Las columnas presentan deficiencia en su capacidad por lo que no se consideran adecuadas para la nueva propuesta de azoteas verdes.
- d) Desplazamientos laterales el edificio se encuentra dentro de los rangos establecidos por el reglamento de construcciones vigente del Distrito Federal.



# Curriculum Vitae

---

## CURRICULUM VITAE

---

### Datos Personales:

**Nombre:** Gloria García Jiménez.  
**Edad:** 47 años.  
**Fecha de nacimiento:** 23 de enero de 1969  
**Lugar de nacimiento:** Ciudad de México

### Formación Académica:

- Arquitecta titulada por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Especialista en Arquitectura Bioclimática.
- Miembro activo del Colegio de Arquitectura Bioclimática Aplicada, AC (CABAAC).

### Cedula Profesional:

2482387

### Capacitación:

- Diplomado en Obra Pública y Mantenimiento. Facultad de Ingeniería de la UNAM. 2004
- Seminario Internacional iluminación arquitectónica. UAM-AZC. 2011.
- Taller de Tecnología aplicada a proyectos sostenibles. Universidad Iberoamericana. 2011.
- Curso de Redacción de Textos. UAM-AZC. 2011.
- Curso Taller, Interpretación y Aplicación de la Ley de Residuos Sólidos del D.F. 2012.

### Resumen de Actividades Profesionales:

- Área de Proyectos y Construcción en Servicios Urbanos del DDF. 1990-1993.
- RIOBOO, S. A de C.V. 1995
- Dirección de Obras de PGJ DF. 1999-2000.
- Grupo ALVAA S.A. 2001.
- PALLETE DESIGN S.A. 2002.
- Subdirección de Obras y Contratación ISSSTE. 2002-2008.
- Coordinaciones Divisionales de Docencia y Tutorías de CyAD de la UAM-A. 2009-2012.
- Comisión del PIHASU de la Rectoría de UAM-A. 2013 a la fecha.

### Publicación de Artículo en la XXXVI Semana Nacional de Energía Solar (ANES):

- “Consideraciones técnicas económicas y sociales de sustentabilidad para el diseño y selección de espacios verdes naturados, una propuesta metodológica”. Octubre 2012.